

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

## **Escuela de Ingeniería en Electrónica**

**Instituto Costarricense de Electricidad  
I.C.E**

### **Sistema de control de trayectoria guiado por GPS para un módulo estimador de profundidad de embalses para el I.C.E**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de  
Ingeniero en Electrónica con el Grado Académico de Licenciatura**

**Ariel David Salazar Porras**

**Cartago, Diciembre de 2002**

## **Resumen**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene una dependencia llamada Departamento de Investigación y Desarrollo, el cual se especializa en realizar investigaciones y desarrollar proyectos con el objetivo de mejorar la productividad y realizar innovaciones para las demás empresas del ICE.

En este departamento nació la idea de implementar un sistema autónomo que se encargara de realizar mediciones de profundidad en los embalses, con el fin de mejorar el control de la sedimentación y mejorar así la productividad de energía eléctrica.

Habiendo desarrollado la idea, se decidió implementar como primera etapa un sistema de navegación guiado por medio de una señal de GPS, capaz de indicar la dirección hacia la cual el sistema debe desplazarse para recorrer una ruta preestablecida, durante la cual debe realizar mediciones de profundidad en puntos geográficos específicos.

El prototipo desarrollado utiliza una tarjeta de GPS, la cual brinda a un microcontrolador las coordenadas geográficas actuales del sistema. En el microprocesador se realiza un análisis sobre la posición actual y las posiciones de destino previamente establecidas. Por medio de algoritmos matemáticos de orientación en tiempo real se logra determinar la dirección hacia la cual se debe desplazar el sistema para igualar ambas coordenadas; cuando esto se consigue se realiza la medición de profundidad. El proceso se realiza hasta que se llega al último punto de destino de la ruta.

El desempeño del prototipo fue bastante aceptable, debido a que las pruebas de campo realizadas permitieron ubicar los puntos de destino dentro de un rango aceptable respecto a la posición deseada, además llegó con éxito a todos los puntos de destino que conformaron la ruta programada.

**Palabras claves:** GPS; Navegación con GPS; Microprocesadores; Algoritmos de orientación; Coordenadas de GPS; Sistemas autónomos.

## Summary

The Costa Rican Institute of Electricity (ICE) has a dependency called Department of Research and Development, it is specialized in making investigations and developing projects with the objective to improve the productivity and to make innovations for other ICE companies.

In this department borned the idea of implementing an independent system that was in charge of make measurements of depth in the dams, with the purpose of improving the control of the sedimentation and improving therefore the productivity of electrical energy.

Having developed the idea, it was decided to implement it, like a first stage, a positioning system guided by a GPS signal able to indicate the direction towards the system must move to cross a pre-established route, for a while it must make measurements of depth in specific geographic points .

The developed prototype uses a GPS card, that offers to a microcontroller the system actual geographical coordinates. It is made an analyses of the actual position and the destiny previously established in the microprocessor. It is possible to determinate the direction towards the system must move to equal both coordinates, through real time orientation mathematical algorithms.; once it is obtained, a depth measurement is made. The process is repeated until arriving the route last destination point.

The prototype performance was successful, because the field tests allowed to locate the destinations within an acceptable rank about the wished position; in addition it arrived very well at all the destination points that conformed the programmed route.

**Key words:** GPS; Navigation with GPS; Microprocessors; Algorithms to orientated; Coordinates of GPS; Independent systems.

## **Dedicatoria**

Al Señor todo poderoso, a la Virgen y al Espíritu Santo por darme paciencia y sabiduría cuando más la he necesitado.

Dedico este trabajo y esfuerzo a mis padres, por haberme guiado en mi vida, darme el estudio como herencia para mi futuro, enseñarme que todo en la vida cuesta y que ganarlo por méritos propios es un logro aún más grande.

## **Agradecimiento**

Agradezco al Ing. Luis Moya Vargas por su asesoramiento y colaboración. Al Departamento de Investigación y Desarrollo del ICE por haberme dado la oportunidad de desarrollar mi Proyecto de Graduación en su institución. También, al personal del laboratorio de Electrónica en Circuitos Impresos por facilitarme su planta física y recursos durante mi período de labores.

Por último, un especial agradecimiento a mi profesor asesor el Ing. Pedro Murillo Fuentes, por su oportuno consejo y guía durante el desarrollo de este Proyecto de Graduación.

## Tabla de Contenidos

CAPITULO 1	Introducción.....	9
1.1	<b>Descripción de la empresa</b> .....	9
1.1.1	Descripción general.....	9
1.1.2	Descripción del departamento .....	10
1.2	<b>Definición del problema y su importancia</b> .....	11
1.3	<b>Objetivos</b> .....	14
1.3.1	Objetivo General .....	14
1.3.2	Objetivos específicos.....	14
CAPITULO 2	Antecedentes.....	16
2.1	<b>Estudio del problema a resolver</b> .....	16
2.2	<b>Requerimientos de la empresa</b> .....	17
2.3	<b>Solución propuesta</b> .....	18
CAPITULO 3	Procedimiento metodológico .....	25
3.1	<b>Metodología</b> .....	25
CAPITULO 4	Descripción del hardware .....	27
4.1	<b>Módulo ADAPT812DXLT</b> .....	27
4.2	<b>GPS Development Kit #DK-ER101</b> .....	28
CAPITULO 5	Descripción del software .....	33
5.1	<b>Descripción del software</b> .....	33
5.2	<b>Módulo Inicialización</b> .....	36
5.3	<b>Módulo Establecer Ruta</b> .....	38
5.4	<b>Módulo Recepción de Datos</b> .....	40
5.5	<b>Módulo Visualización de datos</b> .....	42
5.6	<b>Módulo Conversión</b> .....	44
5.7	<b>Módulo Búsqueda de Destino</b> .....	46
5.8	<b>Módulo Toma de Medición</b> .....	49
5.9	<b>Módulo Nueva Ruta</b> .....	50
CAPITULO 6	Costos del proyecto .....	53
6.1	<b>Recursos necesarios para la elaboración del proyecto.</b> .....	53
6.2	<b>Recursos disponibles en la empresa.</b> .....	55
6.3	<b>Recursos que la empresa debió adquirir para el desarrollo del proyecto.</b> .....	56
CAPITULO 7	Mediciones .....	58
7.1	<b>Pruebas de exactitud de coordenadas para el kit de GPS.</b> .....	58
7.1.1	Procedimiento de medición.....	58
7.1.2	Datos Experimentales.....	60
CAPITULO 8	Análisis de resultados .....	63
8.1	<b>Explicación del diseño</b> .....	63
8.2	<b>Alcances y limitaciones</b> .....	71
CAPITULO 9	Conclusiones y recomendaciones .....	73
9.1	<b>Conclusiones</b> .....	73
9.2	<b>Recomendaciones</b> .....	76
BIBLIOGRAFIA	.....	77
1)	<b>Documentos</b> .....	77
2)	<b>Direcciones electrónicas</b> .....	77
APENDICES Y ANEXOS	.....	78
1)	<b>Apéndices</b> .....	78
	Apéndice A.1: Glosario y lista de abreviaturas .....	78
	Apéndice A.2 Guía rápida para programar tarjetas Adapt812DXLT .....	80
2)	<b>Anexos</b> .....	86
	Anexo B.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS) .....	86
	Anexo B.2 Comandos NMEA para el GPS Development Kit #DK-ER101 .....	93

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.2. Diagrama de flujo del sistema de control.....	22
Figura 2.3. Formato del sistema de coordenadas del Kit de GPS EK-101. ....	24
Figura 4.1 Módulo ADAPT812DXLT .....	28
Figura 4.2. Distribución del conector MCX de la tarjeta ER-101 .....	30
Figura 4.3 Vista inferior de la tarjeta ER-101 .....	31
Figura 4.4 Vista superior de la tarjeta ER-101 .....	31
Figura 5.1. Diagrama de flujo de los módulos de software del programa. ....	35
Figura 5.2. Diagrama de flujo del módulo de Inicialización. ....	37
Figura 5.3. Diagrama de bloques del módulo Establecer Ruta.....	39
Figura 5.4. Diagrama de bloques del módulo Recepción de Datos. ....	41
Figura 5.5. Diagrama de bloques del módulo Visualización de Datos.....	43
Figura 5.6. Diagrama de bloques del módulo de Conversión.....	45
Figura 5.7. Diagrama de bloques del módulo Búsqueda de Destino.....	48
Figura 5.8. Diagrama de bloques del módulo Toma de medición. ....	50
Figura 5.9. Diagrama de bloques del módulo Nueva Ruta.....	52
Figura 7.1 Croquis del sistema usado para las pruebas de exactitud para el kit de GPS. ....	59
Figura A.2.1. Ventana terminal de monitoreo del puerto serie.....	80
Figura A.2.2. Ventana de configuración del puerto serie. ....	81
Figura A.2.3. Ventana de configuración de direcciones de memoria para la tarjeta Adapt812DXLT. .....	82
Figura A.2.4. Menú de programación para memoria flash de la tarjeta Adapt812DXLT. ....	83
Figura B.1.1. Punto de contacto .....	88
Figura B.1.2. Medición de la diferencia de tiempo. ....	90
Figura B.1.3. Ejemplo del sistema de GPS.....	92

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1</b>	Características del módulo ADAPT812DXLT .....	27
<b>Tabla 4.2</b>	Descripción de pines del conector MCX de la tarjeta ER-101. ....	32
<b>Tabla 6.1.</b>	Materiales para la elaboración del proyecto. ....	53
<b>Tabla 6.2.</b>	Equipo para la elaboración del proyecto. ....	53
<b>Tabla 6.3.</b>	Servicios personales para la elaboración del proyecto. ....	54
<b>Tabla 6.4.</b>	Servicios no personales para la elaboración del proyecto. ....	54
<b>Tabla 6.5.</b>	Infraestructura necesaria.....	54
<b>Tabla 6.6.</b>	Equipo disponible en la empresa. ....	55
<b>Tabla 6.7.</b>	Servicios personales disponibles en la empresa. ....	55
<b>Tabla 6.8.</b>	Infraestructura disponible en la empresa. ....	55
<b>Tabla 6.9.</b>	Materiales disponibles en la empresa. ....	56
<b>Tabla 6.10.</b>	Materiales adquiridos. ....	56
<b>Tabla 6.11.</b>	Servicios personales adquiridos.....	57
<b>Tabla 6.12.</b>	Servicios no personales adquiridos.....	57
<b>Tabla 7.1</b>	Medición de exactitud de coordenadas en Pozos de Santa Ana. ....	60
<b>Tabla 7.2</b>	Medición de exactitud de coordenadas frente Forum, Santa Ana.....	61
<b>Tabla 7.3</b>	Medición de exactitud de coordenadas en Ciudad Colón.....	61



## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

---

#### **1.1 Descripción de la empresa**

##### **1.1.1 Descripción general.**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto - Ley No.449 del 8 de abril de 1949 como una institución autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Está dotado de plena autonomía e independencia administrativa, técnica y financiera. Al ICE le corresponde, por medio de sus empresas, desarrollar, ejecutar, producir y comercializar todo tipo de servicios públicos de electricidad y telecomunicaciones, así como actividades o servicios complementarios a estos.

Como objetivos primarios el ICE debe desarrollar, de manera sostenible, las fuentes productoras de energía existentes en el país y prestar el servicio de electricidad. A su vez, se encarga de desarrollar y prestar los servicios de telecomunicaciones, con el fin de promover el mayor bienestar de los habitantes del país y fortalecer la economía nacional.

En 1963 y por medio de la Ley No. 3226, la Asamblea Legislativa le confirió al ICE un nuevo objetivo: el establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas en el territorio nacional. Tres años más tarde, instaló las primeras centrales telefónicas automáticas y, a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo.

Con el devenir del tiempo, ha evolucionado como un grupo corporativo de empresas estatales, integrado por el propio ICE (Sectores Electricidad y Telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria, mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

### **1.1.2 Descripción del departamento**

El proyecto se realiza bajo la supervisión del departamento de Investigación y Desarrollo, Sector Energía - ICE. Dicha dependencia cuenta con alrededor de 40 empleados, de los cuales, 30 personas son ingenieros en áreas tales como Electricidad, Informática y Electrónica. Como Director del Centro de Servicio de Investigación y Desarrollo se encuentra el Ing. Rónald Jiménez Valverde.

En este departamento se brindan las soluciones tecnológicas a los diferentes problemas técnicos que se presenten en cualquiera de los sectores del ICE. Cuenta con oficinas y laboratorios de desarrollo en el tercer piso del edificio UEN-PYSA (300 metros Norte del ICE-Sabana). Además se tiene acceso a laboratorios de investigación ubicados en el sector de Colima de Tibás, San José.

El Ing. Luis Moya Vargas, quien es Coordinador de Proyectos, fue el encargado de supervisar el avance y desarrollo del proyecto.

## **1.2 Definición del problema y su importancia**

El proceso de producción de ICE Electricidad se basa en la transformación de la energía potencial del agua a energía eléctrica mediante el uso de turbinas.

Estas turbinas transmiten su movimiento giratorio a los generadores, los cuales se encargan de transformar la energía mecánica producida por esta rotación en energía eléctrica.

Para asegurarse de un trabajo eficiente y continuo de las turbinas, el agua debe ser almacenada en represas o embalses, de los cuales se necesita un flujo suficiente y constante para producir la energía eléctrica requerida para satisfacer las necesidades industriales y habitacionales.

En la actualidad se presentan deficiencias en el aprovechamiento de la cantidad de agua de los embalses. Esto se atribuye a que la cantidad de agua utilizada va en disminución debido a la creciente cantidad de sedimentos depositados en el fondo de las represas, lo cual ha llevado a la necesidad de contar con un registro de la profundidad del agua en los diversos embalses para corregir este inconveniente.

Para el ICE es importante resolver este problema debido a que si se deja que los sedimentos se sigan depositando en el fondo de la represa, cada vez habrá un menor flujo de agua hacia la misma. Por ende, se produciría un menor aprovechamiento de la fuerza de empuje del agua ya que habría menos agua para hacer girar las turbinas.

El problema general a resolver es el no contar con un equipo que realice esta medición de manera precisa y exacta para construir un perfil del fondo de los embalses.

Profundizando en las características del equipo que se precisa implementar, se ha detectado la necesidad de utilizar un sistema de posicionamiento adecuado para que las mediciones de la profundidad en los embalses y ríos sean ubicadas geográficamente en forma correcta; ya que de no lograrse, se corre el riesgo de obtener información errónea, y no se podría contar con un perfil exacto en las zonas de interés, para lograr así un mejor rendimiento en la producción de energía hidroeléctrica.

Otro aspecto por considerar para la solución del problema es el mecanismo para tomar las mediciones de la profundidad. Para ello se espera utilizar un dispositivo ultrasónico que realice la medición de profundidad al llegar al lugar indicado a una orden del equipo central.

En general, el aparato con dicho sistema de posicionamiento deberá ser capaz de buscar una serie de puntos de una trayectoria que le serán grabados en memoria, y al llegar a ellos realizar la medición de profundidad y almacenarla junto con las coordenadas del punto geográfico donde se tomó.

Con el planteamiento de este proyecto de graduación lo que se busca es el desarrollo del sistema de navegación del equipo descrito anteriormente.

El problema a resolver específicamente es la elaboración de un algoritmo que sea capaz de tomar como referencia una señal de GPS diferencial que es más precisa, y buscar a partir de ella una serie de puntos o coordenadas programadas que describen la trayectoria a seguir para la toma de mediciones.

La implementación de la estructura y forma final del dispositivo queda en manos de la asesoría de ingeniería mecánica del ICE.

En vista de que actualmente el monitoreo del nivel de los sedimentos lo realizan personas, los beneficios para los empleados que realizan esta actividad serán:

- Se elimina el riesgo que los empleados corren durante la toma de mediciones en los embalses.
- Los empleados podrán programar desde tierra, los puntos en donde el dispositivo automatizado (barcaza o submarino) hará la medición.

Los beneficios para la empresa serán:

- Menor gasto en el monitoreo del nivel de los sedimentos.
- Disminuye el tiempo para hacer la medición del nivel de sedimentos en varios puntos.
- La medición de la profundidad a la cual están los sedimentos será más precisa.
- La ubicación geográfica de las profundidades medidas será más exacta.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un prototipo terrestre de un control de trayectoria experimental guiado por GPS para un sistema ultrasónico medidor de profundidad de causes y embalses, hasta el nivel en que el dispositivo pueda seguir una trayectoria almacenada en su memoria.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Realizar un reporte acerca de las características y utilidades a considerar para el desarrollo del proyecto en las tarjetas integradas (GPS Development Kit #DK-ER101, y la Adapt812DXLT).
2. Investigar sobre sistemas de GPS satelital, local y DGPS.
3. Evaluar toda la información existente sobre los antecedentes del proyecto.
4. Solicitar componentes adicionales para implementar la solución (receptor de radio, transmisor de corrección de GPS, computadora portátil).
5. Desarrollar habilidades y conocimientos en el uso del lenguaje de programación C.
6. Implementar una serie de rutinas de prueba para corroborar el correcto funcionamiento de las tarjetas (por separado).
7. Elaborar y probar el programa central controlador del sistema (programa del microprocesador).

8. Ensamblar el sistema prototipo para realizar pruebas.
9. Estudiar la exactitud del kit de GPS en la medición de coordenadas geográficas.
10. Realizar pruebas de campo del funcionamiento del sistema prototipo.
11. Depurar los posibles errores de funcionamiento del sistema prototipo.
12. Realizar el informe final y presentación final del proyecto.

## **CAPITULO 2**

### **ANTECEDENTES**

---

#### **2.1 Estudio del problema a resolver**

Remontándose a los antecedentes técnicos del problema a resolver se ubican una serie de detalles muy importantes acerca de cómo se realizaban las mediciones de profundidad en los embalses.

Inicialmente esta labor se cumplía por medio de un bote de remos con dos tripulantes, uno de los cuales mediante la utilización de una varilla graduada de seis metros de longitud estimaba la profundidad; obviamente este proceso no contaba con la exactitud requerida en cuanto a la medida tomada ni se contaba con un registro geográfico exacto de los lugares donde se realizaron las mediciones.

Actualmente los datos de la profundidad son tomados por medio de una ecosonda montada en una pequeña lancha de motor tripulada por dos personas, la ubicación de los sitios donde se toma la medición es realizada mediante la lectura de una unidad de GPS portátil. Con los datos más exactos de profundidad y coordenadas de ubicación que se obtienen se construye un mapa tridimensional del fondo de los embalses.

Con el desarrollo de este proyecto se busca realizar esta tarea de una manera más segura, económica, precisa y en un tiempo menor.



## **2.2 Requerimientos de la empresa**

Los requisitos solicitados por la empresa en cuanto a hardware fueron la creación de un prototipo portátil conformado por el Kit de GPS, la tarjeta Adapt, la computadora portátil y la alimentación del sistema (batería de 12V). Se utilizará la señal de GPS satelital en tiempo real, el cual ha mejorado su precisión y exactitud gracias a la eliminación de las restricciones impuestas por el gobierno de los Estados Unidos de Norte América, dicha exactitud debe ser probada experimentalmente durante el desarrollo del proyecto.

En lo que se refiere a las especificaciones del software del sistema, el Departamento de Investigación y Desarrollo del ICE busca que el programa sea sencillo y funcional. El algoritmo programado en el microprocesador debe ser escrito en lenguaje C, y ser capaz de orientar al sistema para alcanzar un punto geográfico de destino por medio de una referencia de posición global en tiempo real. Los desplazamientos para ubicar el destino deben ser en el plano X-Y únicamente.

En lo referente a los actuadores del sistema, el algoritmo debe indicar si el sistema debe realizar movimientos Este - Oeste para ajustar la longitud en las coordenadas, o si debe indicar movimientos Norte – Sur para ajustar la latitud entre el punto de destino y el punto de ubicación actual. Además, debe indicar por medio de una luz que el sistema alcanzó el punto de destino, asimismo debe encenderse una señal luminosa para indicar que se debe realizar la medición de profundidad.

Por último, al llegar al punto de destino, el sistema debe encender una luz que indica que se encuentra dentro un rango pertinentemente cerca del punto de destino, luego encenderá la luz que simula la señal que se le enviará al sonar para que ejecute la medición de profundidad.

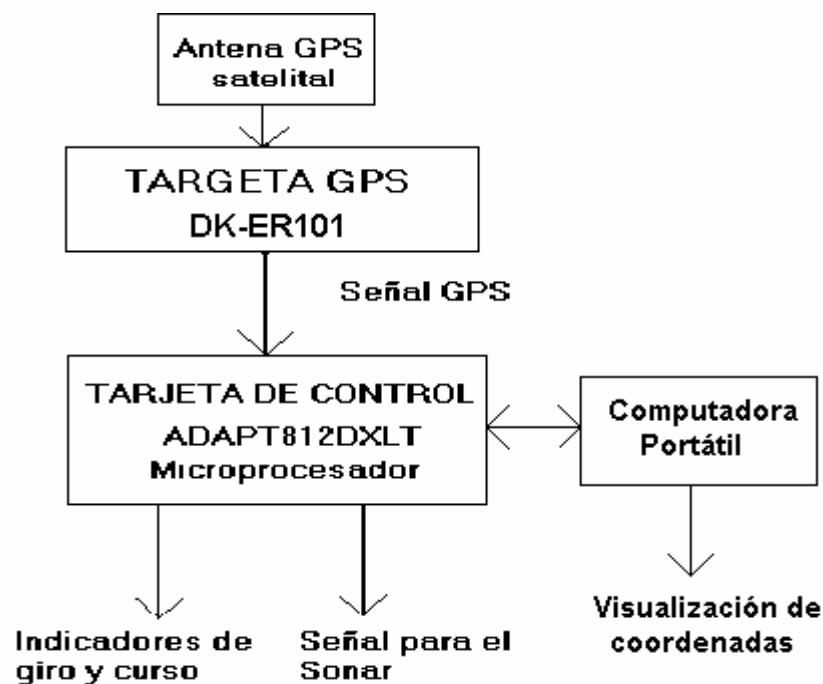
Finalmente, el sistema debe establecer un nuevo punto de destino, el cual será el siguiente punto en la lista que conforma la ruta a seguir; esta ruta estará en memoria dentro del programa central; una vez establecido el nuevo destino el ciclo de búsqueda se repite.

### **2.3 Solución propuesta**

Al tratarse de un problema que ha sido atacado con anterioridad, la estructuración de la solución se encontraba prácticamente definida por parte de los ingenieros del Departamento de Investigación y Desarrollo, las etapas y los requerimientos mínimos del sistema estaban estipulados ya en su mayoría, y los diversos componentes a utilizar se encontraban ya disponibles para su uso.

La solución plantea que para lograr que el módulo encargado de tomar las muestras describa una trayectoria confiable y ordenada, y para que las muestras se tomen en las coordenadas establecidas y sin desviaciones significantes, es necesario tener un sistema de referencia de posicionamiento y orientación realmente exacto. Se utilizó una señal de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) satelital, a la cual se le realizaron pruebas de exactitud, la cuales pueden ser observadas en el capítulo 6 de este informe. La señal satelital es captada por medio del sistema de medición de GPS Development Kit #DK-ER101 y luego su información es enviada hacia una “tarjeta de control”.

La tarjeta denominada como “tarjeta de control” corresponde a la ADAPT812DXLT, la cual incluye un microprocesador 68HC12 de Motorola; esta tarjeta cuenta con dos puertos serie, de los cuales uno es el que se utiliza para obtener las coordenadas provenientes del kit de GPS, dichas coordenadas son comparadas con la dirección del punto destino grabado en la memoria del microprocesador por medio de un algoritmo que se debe implementar y que debe a su vez brindar señales de respuesta a una serie de visualizadores (LED’s) que indiquen hacia que dirección se debe mover el sistema para llegar a sus puntos de destino; también debe enviar una señal que le indique al módulo ultrasónico cuando realiza su medición. En la figura 2.1 se presenta un diagrama de bloques que describe las partes que conforman la solución.



**Figura 2.1.** Diagrama de bloques para la solución del proyecto.

Se debe tener presente que se desea que el sistema tenga la capacidad de movimiento en el plano X-Y horizontal y detenerse para tomar las muestras en los puntos de destino. Se planeó realizar estos movimientos en tierra firme y desplazar el sistema manualmente guiándose por los indicadores externos para seguir el curso programado, prescindiendo por el momento del sistema móvil autónomo <sup>1</sup>.

Además, se contó con el software necesario para la programación del microprocesador Motorola, así como con los manuales de las tarjetas integradas. El microprocesador 68HC12 se programó en lenguaje C, y la tarjeta de GPS posee su propio set de comandos.

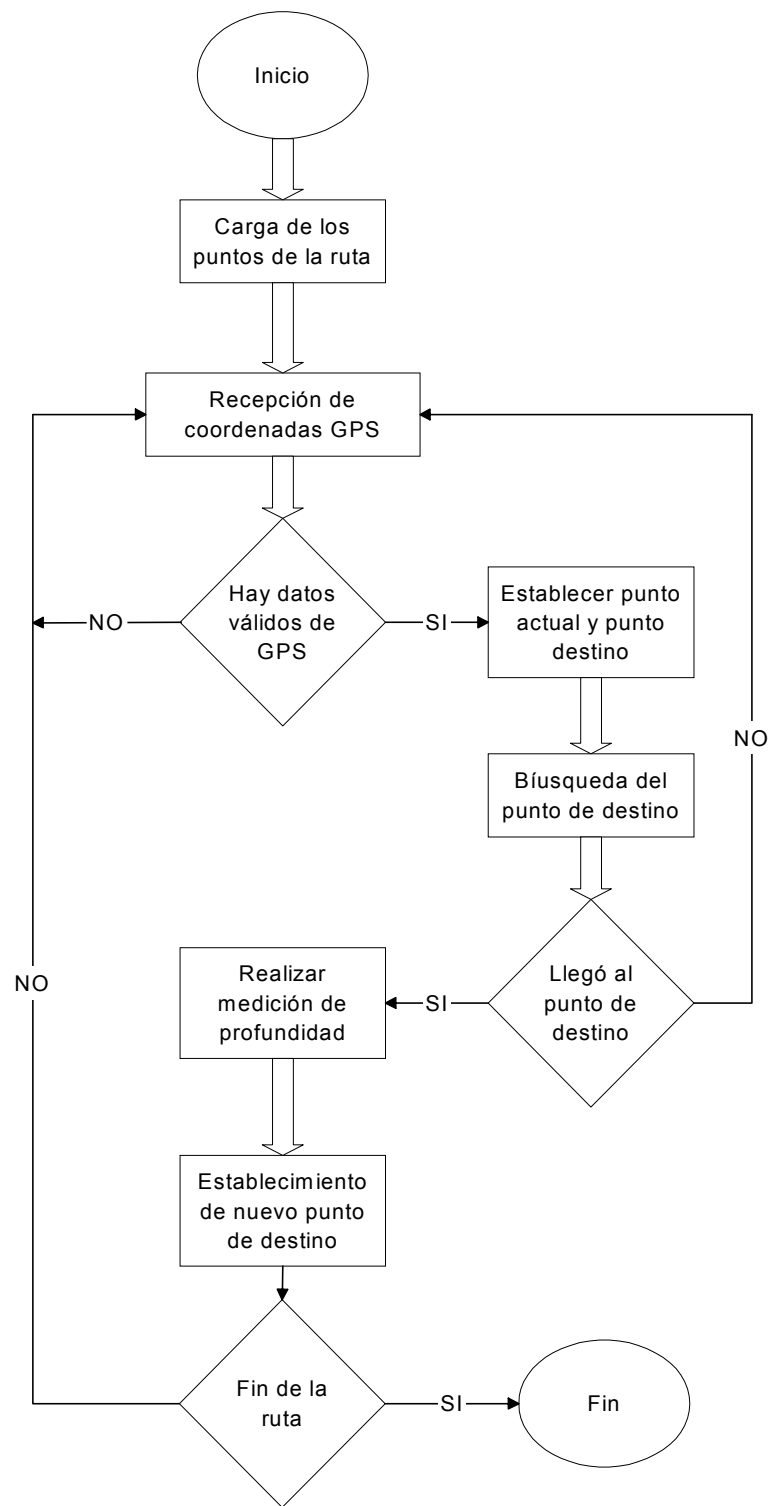
En la figura 2.2, se presenta un diagrama de flujo para el algoritmo que permite el procesamiento de la información. En este diagrama se puede observar como una vez que se establece la ruta, se capturan los datos del GPS y se evalúa su validez, si las coordenadas son veraces el sistema procede a indicar hacia que dirección se deben realizar los desplazamientos para ubicar el primer punto de destino, cuando el sistema detecta que se llegó al punto de destino realiza la medición de profundidad e inicia la búsqueda del siguiente punto de la ruta cargada.

Es importante mencionar que la precisión del GPS normal sin las restricciones impuestas por los Estados Unidos se encuentra entre los 25 y 10 metros. La idea de ubicar el sistema exactamente en una coordenada exacta es utópica, pero para los requerimientos prácticos del proyecto el acercarse al punto de destino en un rango de unos pocos metros a la redonda es suficiente.

---

<sup>1</sup> Entiéndase barcaza o submarino automatizado.

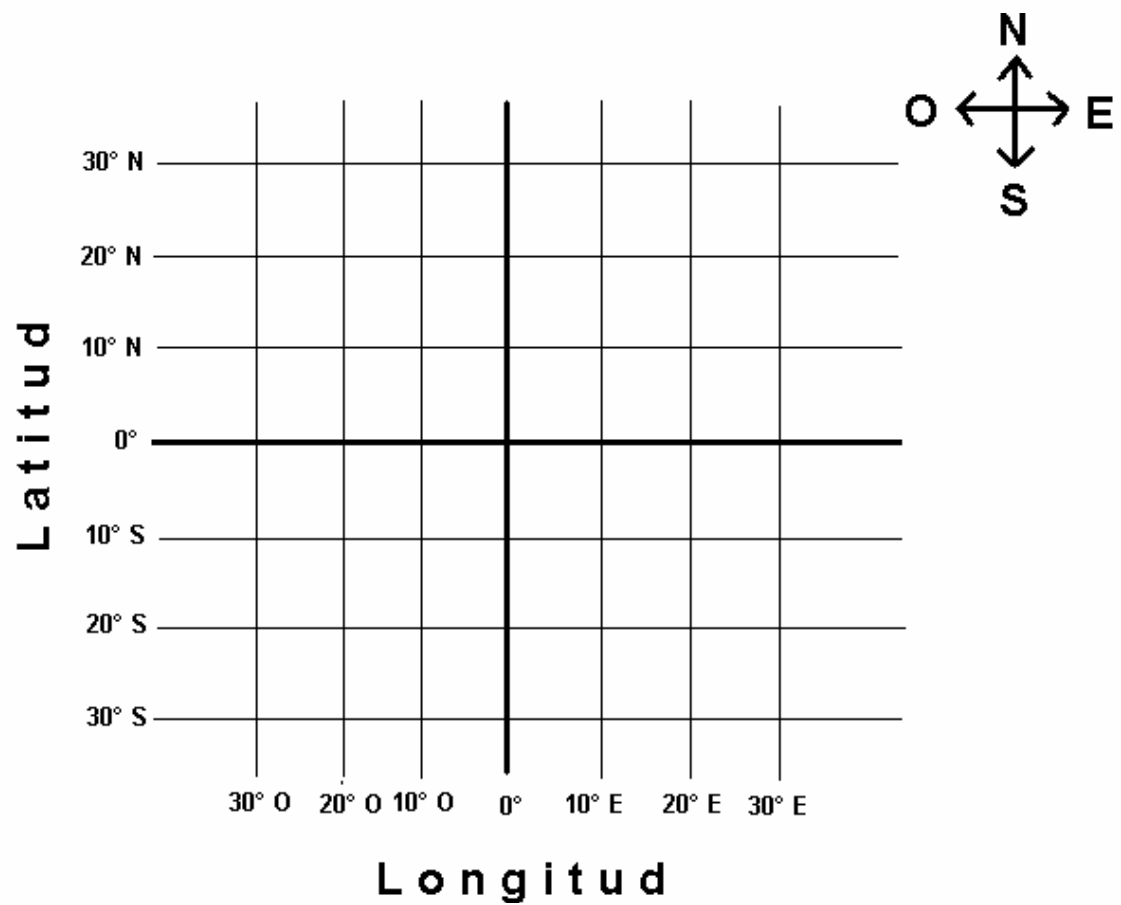
Para la utilidad de las coordenadas en este proyecto lo realmente importante es la exactitud de las mismas, ya que se debe tener como casi una constante las coordenadas en los puntos por donde se desea que el prototipo del sistema se desplace; así, sería posible establecer puntos de una ruta separados por una distancia pertinente para evitar confusiones por causa de oscilaciones en los valores de las coordenadas provenientes del kit de GPS.



**Figura 2.2.** Diagrama de flujo del sistema de control.

Como se mencionará más detalladamente en el *Capítulo 7*, en el apartado 7.1 '*Explicación del diseño*', los datos de la ruta cargada deben constar de una lista de puntos, las coordenadas de latitud y longitud deben ser plasmados en un formato de distancia en centímetros que permita compararlos directamente con los valores provenientes de la tarjeta de GPS que son convertidos por el programa dentro del microprocesador.

El acercamiento al punto de destino se realizará por una constante comparación de la posición destino contra la actual, el algoritmo deberá indicar si se debe ir hacia el Norte si la latitud actual es menor a la del destino, y hacia el Sur si es mayor. De igual manera con la longitud, si la actual es mayor que la del destino, la indicación debe ser moverse hacia el Oeste, y si por el contrario la longitud actual es menor que la del punto de destino el sistema debe de indicar un desplazamiento hacia el Este. Para confirmar las anteriores aseveraciones se debe observar la figura 2.3, la cual muestra la cuadrícula de coordenadas que se usó como referencia.



**Figura 2.3.** Formato del sistema de coordenadas del Kit de GPS EK-101.

Por las características del sistema de posicionamiento y de su exactitud se puede permitir una cierta incertidumbre en la ubicación del punto, la cual dependerá de la exactitud con que se desee que el prototipo trabaje.

Cuando el sistema detecte que se encuentra en el punto destino debe detenerse y realizar la medición, la cual será simulada por una luz. Una vez terminado esto, se debe seguir ubicando el nuevo punto de destino.



## **CAPITULO 3**

### **PROCEDIMIENTO METODOLOGICO**

---

#### **3.1 Metodología**

Los siguientes son los pasos metodológicos seguidos:

- 1) Estudio de los manuales de las tarjetas integradas: GPS Development Kit #DK-ER101, y ADAPT12DXLT.
- 2) Consulta de hojas de datos del 68HC12 de Motorola, diagramas de sus registros de control, configuración y puertos.
- 3) Consulta en internet y libros sobre el funcionamiento del GPS satelital.
- 4) Revisión de los informes finales, reportes y programas de software elaborados por los grupos de trabajo involucrados previamente en el desarrollo del proyecto.
- 5) Estimación de los componentes faltantes para la implementación del prototipo y realización de su pedido.
- 6) Adquisición y estudio de manual de usuario y programa tutorial para lenguaje de programación C para microprocesadores con la finalidad de desarrollar habilidades de programación en dicho lenguaje.
- 7) Elaboración de rutinas de prueba para las tarjetas integradas; se pensó probar el kit de GPS con una PC portátil y la Adapt con un programa demo para puertos de I/O.
- 8) Prueba y depuración de las rutinas en las tarjetas y evaluación de sus resultados. Se probó el receptor de GPS visualizando las coordenadas recibidas por medio de una PC portátil. La tarjeta Adapt fue programada con el algoritmo de prueba y se corroboró que funcionaba correctamente.

- 9) Creación de los algoritmos a programar en las memorias y microcontroladores mediante el editor de C del ICC12.
- 10) Programación, prueba y depuración de los algoritmos en los microcontroladores vía puerto serie con el compilador ICC12.
- 11) Identificación y pedido de materiales adicionales para el acabado del prototipo experimental (bastidor, tornillos, distribución de partes, etc.).
- 12) Evaluación de la exactitud de las mediciones de coordenadas del Kit de GPS mediante pruebas realizadas en puntos de prueba escogidos anticipadamente, se tomaron repetidas mediciones en los puntos seleccionados y se tabularon las variaciones en las diferentes mediciones.
- 13) Montaje físico del prototipo experimental, colocando las tarjetas integradas y el panel de luces indicadoras dentro de una bandeja metálica y dejando la prevista para la alimentación de una batería externa de 12 V..
- 14) Prueba del prototipo en el laboratorio de pruebas introduciendo coordenadas vía software para comprobar el funcionamiento del algoritmo general. Luego se realizaron pruebas del prototipo final con el GPS en tiempo real.
- 15) Evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas de campo (limitaciones y fortalezas) mediante la exactitud obtenida por el prototipo al ubicar los puntos de la ruta.
- 16) Depuración de los posibles errores de funcionamiento del sistema prototipo mejorando el algoritmo y las condiciones del hardware para evitar el efecto del ruido electromagnético.
- 17) Realización del informe final y la presentación final del proyecto.

## CAPITULO 4

### DESCRIPCION DEL HARDWARE

---

#### 4.1 Módulo ADAPT812DXLT

El módulo ADAPT812DXLT es un kit diseñado para el montaje de prototipos. El tipo de conectores permite que sea fácilmente adaptable para trabajar con protoboards, wire wrap o solder wrap.

La memoria de programa es de 128K expandible hasta 512K (Flash) y la memoria de datos de 32K (RAM).

Es programable en C, Basic y ensamblador; y se utiliza el puerto RS-232 para programar el Kit desde la PC. En el *Apéndice A.2* se muestra una guía para programar fácilmente la Adapt812DXLT.

La tabla 4.1 muestra una lista de las características más importantes del módulo Adapt812. La figura 4.1 corresponde a una fotografía del módulo a utilizar.

**Tabla 4.1** Características del módulo ADAPT812DXLT

Característica	ADAPT812DXLT
Memoria ROM	4K EEPROM
Memoria RAM	32K
Memoria Flash	128K
Líneas I/O	90, programables como entradas o salidas
Acceso a memoria externa	Módulos 128K y 64K
Puerto serie	2 SCI (68HC912) / RS-232 y RS485 (Kit)
Programación	C, Basic, ensamblador. Se programa directamente, mediante el puerto serie de la PC
Presentación	Kit 3.25" x 3.25".



**Figura 4.1** Módulo ADAPT812DXLT

## **4.2 GPS Development Kit #DK-ER101**

Este es un kit de GPS para uso personal o para desarrollo de prototipos en los cuales se requiere contar con los datos de posición geográfica del sistema o algún elemento específico. El protocolo utilizado para el envío y recepción de la información es el NMEA 0183, es importante referirse al *Anexo B.2* para observar los comandos de entrada y de salida para utilizar este módulo correctamente.

El kit de GPS contiene las siguientes partes: una tarjeta GPS ER-101, una antena GPS AT-25 y un CD con software para instalar el kit a una computadora y las especificaciones de la tarjeta tales como comandos de control, protocolos y características físicas.

*Características de la tarjeta ER-101:*

- Arquitectura SiRFstar GPS
- Procesador SiRFstar de alto desempeño y bajo consumo de energía
- Soporta el protocolo standard NMEA 0183
- Procesamiento paralelo de 12 canales
- Tiempo de re-adquisición de 100ms
- Arranque en frío por debajo de los 45 segundos
- Puertos RS-232 Full-duplex para navegación y control de mensajes.
- Capacidad de trabajar con DGPS a través del segundo puerto RS-232
- Condiciones dinámicas:

**Altitud** 18,000 metros (60,000 pies) max.

**Velocidad** 515 metros/sec. (1000 nudos) max.

- Poder:

**Voltaje de alimentación** 3.8VDC ~ 6.5 VDC

**Corriente de alimentación** 150mA típica

**Voltaje de Backup** +2.5V a +3.6V

**Corriente de Backup** 10  $\mu$ A típica

- Puertos serie:

**Puertos** 2, uno para GPS y otro para DGPS

**Nivel Eléctrico** nivel TTL

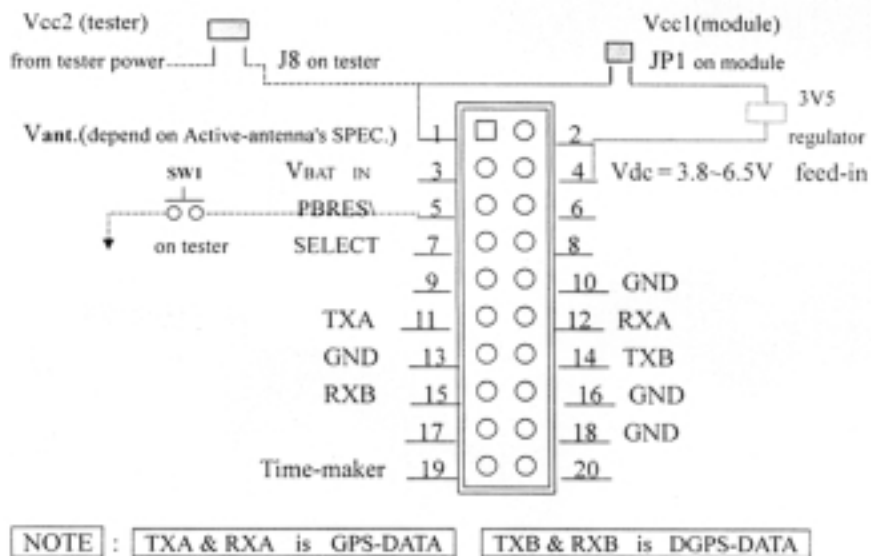
**Comunicación** Full-duplex asincrónica

**Tipo de código** ASCII

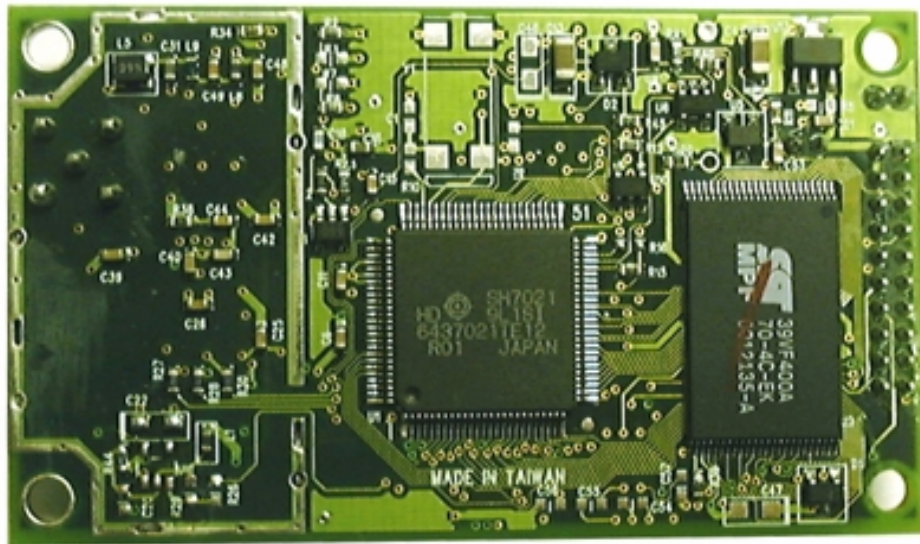
**Protocolo GPS** SiRF binary/NMEA 0183 seleccionable

- Funciones GPS** SiRF binary >> posición, velocidad, altitud, estado y control  
NMEA 0183 (v2.2) >> GGA, GSA, GSV, RMC (VTG y GLL son opcionales)
- Tasa de Tx GPS** Seleccionable por software  
(Default : 4800bps para NMEA y 19200 bps para SiRF binary)
- Protocolo DGPS** RTCM SC-104, ver 2.00, tipo 1, 2, y 9.

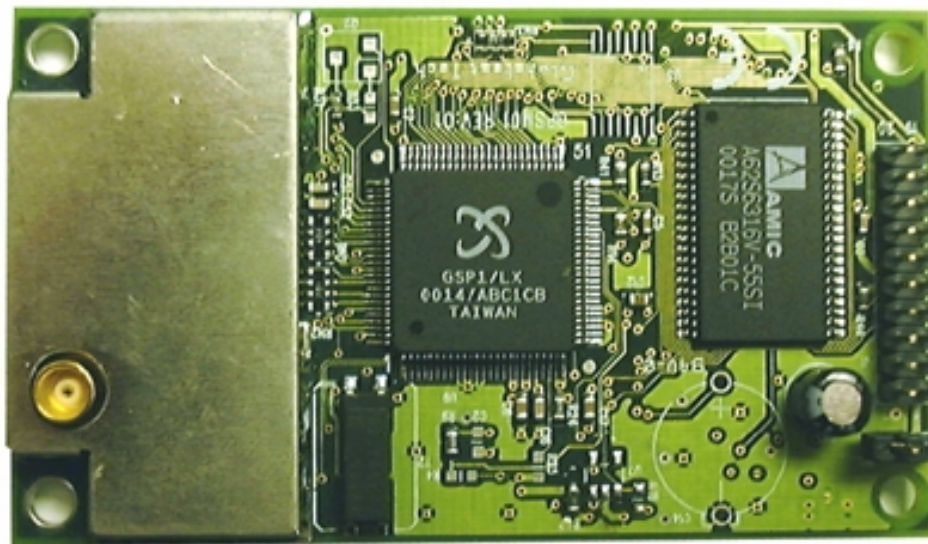
La figura 4.2 muestra la estructura del conector MCX que posee la tarjeta, por medio de este conector es posible la conexión de los dos puertos serie RS-232. En las figuras 4.3 y 4.4 se muestran las vistas superior e inferior de la tarjeta ER-101.



**Figura 4.2.** Distribución del conector MCX de la tarjeta ER-101



**Figura 4.3** Vista inferior de la tarjeta ER-101



**Figura 4.4** Vista superior de la tarjeta ER-101

Para completar la descripción de este kit de GPS y complementar la información mostrada en la figura 4.2 sobre la conformación del conector de la tarjeta, se muestra en la tabla 4.2 la descripción de los pines que lo conforman, en esta tabla aparecen los pines numerados con su respectivo nombre y función.

**Tabla 4.2** Descripción de pines del conector MCX de la tarjeta ER-101.

\* Pin-out of the 20-pin interface connector

Pin Number	Name	Description	Type
1	VANT	Antenna DC Voltage	Input
2	VDC	+6.5V~+3.8V DC Power Input	Input
3	BAT	Backup Battery	Input
4	VDC	(Shorted with pin 2)	Input
5	PBRES	Push Button Reset Input (Active Low)	Input
6	RESERVED	(Reserved)	
7	SELECT	Down-load data from RS232 to flash ROM	
8	RESERVED	(Reserved)	
9	RESERVED	(Reserved)	
10	GND	Ground	
11	TXA	Serial Data Output A (GPS Data)	Output
12	RXA	Serial Data Input A (Command)	Input
13	GND	Ground	
14	TXB	Serial Data Output B (No Used)	Output
15	RXB	Serial Data Input B (DGPS Data)	Input
16	GND	Ground	
17	RESERVED	(Reserved)	
18	GND	Ground	
19	TIMEMARK	1PPS Time Mark Output	Output
20	RESERVED	(Reserved)	



## CAPITULO 5

### DESCRIPCION DEL SOFTWARE

---

#### 5.1 Descripción del software

En este capítulo se describe en forma esencial el funcionamiento del programa que ejecuta el microcontrolador. Para una mejor comprensión de los algoritmos usados en la estructuración del programa éste se separó en módulos funcionales. Esto permite al mismo tiempo facilitar la explicación de su funcionamiento y de sus efectos sobre el programa principal.

Inicialmente, se debe tener claro que el programa se escribió en lenguaje C para microprocesadores HC12, tipo al cual pertenece el microprocesador Motorola MC68HC812A4. Este tipo de microprocesador tiene la limitante con respecto a otros que no permite trabajar con números reales, tampoco es posible incluir librerías o utilizar funciones especiales para este tipo numérico.

Para descargar el programa en el microprocesador se utilizó el compilador para lenguaje C ICC12 de Image Craft, el cual se conecta vía serie con el módulo ADAPT812DXLT.

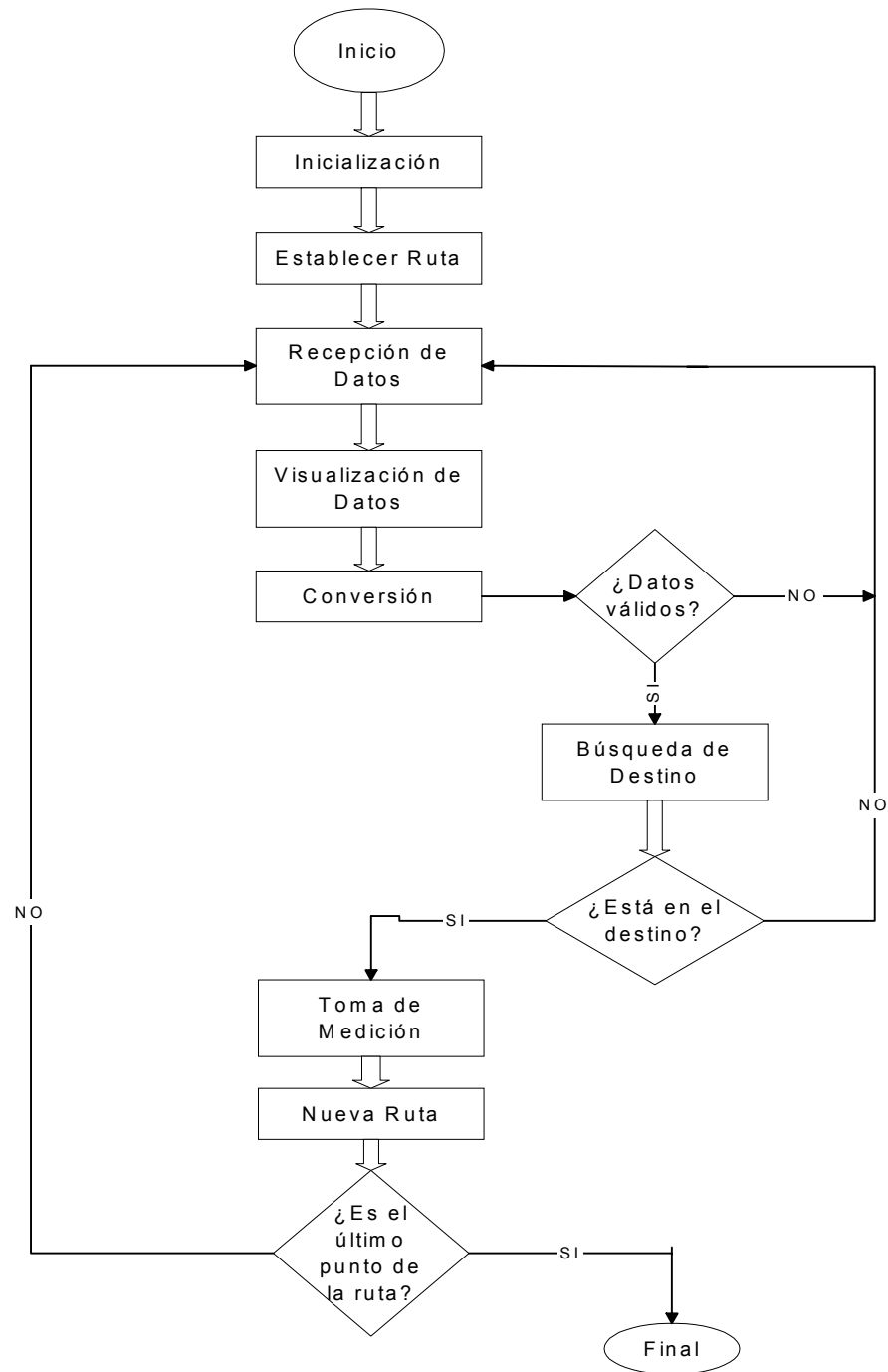
En lo referente al algoritmo en sí, se parte de que se cuenta con una línea de transmisión serie que entrega las coordenadas geográficas de ubicación actual del sistema; esta línea conecta unidireccionalmente al kit GPS y el puerto serie 1 del módulo ADAPT. El formato de esta información se explica en el Capítulo 6, en su apartado *Explicación del diseño*.

Existe otra línea de conexión entre el puerto serie 0 de la tarjeta ADAPT y una computadora portátil, en la cual se descarga el programa al microcontrolador y se logran visualizar en tiempo real las coordenadas de posición actual del sistema, el formato de los datos observados es NMEA y se logra por medio de la ventana de visualización serie del compilador ICC12.

En la figura 5.1 aparece el diagrama de flujo del programa del microcontrolador el cual presenta la relación entre los diferentes módulos de software que lo conforman. En este diagrama se puede observar como el programa general consta de ocho módulos funcionales, cada uno de los cuales desempeña un proceso especial e importante dentro del algoritmo general.

Describiendo el diagrama de flujo se puede mencionar que los dos primeros módulos: *Inicialización* y *Establecer ruta* se encargan de preparar al sistema para operar y establecer los parámetros esenciales para su correcto desempeño; estos procedimientos se ejecutan únicamente al inicio del proceso de arranque del sistema, y no se volverán a invocar hasta que se realice una nueva activación del sistema después de haber terminado su proceso de recorrido de la ruta.

Luego se entra en un proceso cíclico que terminará únicamente cuando se complete exitosamente el recorrido de todos los puntos de destino guardados durante la ejecución del módulo de *Establecer ruta*. Primero se empiezan a recibir las coordenadas provenientes de la tarjeta de GPS durante el módulo de *Recepción de datos*, seguidamente el módulo *Visualización de datos* permite que el usuario observe en que coordenadas se encuentra el sistema actualmente. Una vez terminado el envío de los datos a pantalla, se invoca en módulo de *Conversión*, el cual pasa los datos de las coordenadas de ASCII a decimal para poder ser dimensionados y manipulados matemáticamente para hallar su equivalente de distancia en centímetros.



**Figura 5.1.** Diagrama de flujo de los módulos de software del programa.

Ahora que se tienen los valores de latitud y longitud actuales se revisa si la cantidad de satélites de los cuales se tiene señal permite considerar que las coordenadas son válidas. Si no son confiables se repite el proceso de captura de nuevos datos, pero si son válidas se llama al módulo de *Búsqueda de destino*.

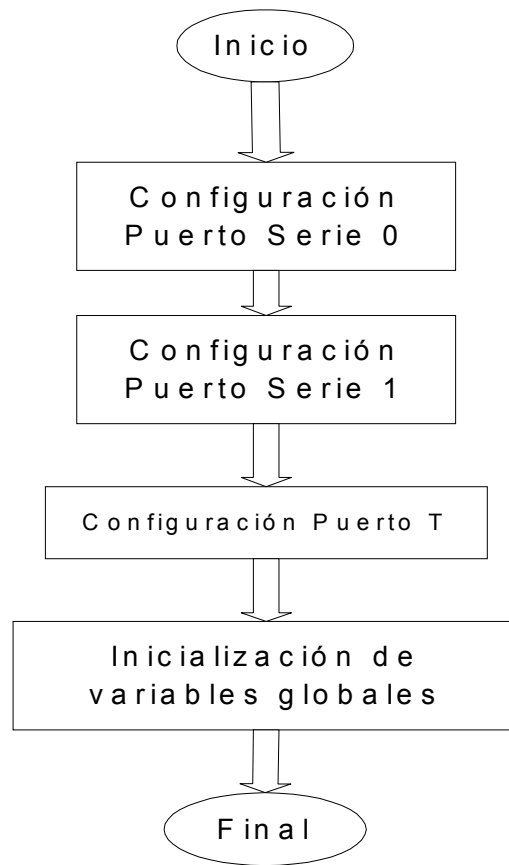
En el proceso de buscar el destino se calcula la ubicación del próximo punto de destino con respecto a la posición actual, para luego tomar las acciones pertinentes para marcar la dirección hacia la cual el sistema debe de ser desplazado para alcanzarlo.

El proceso de *Búsqueda del destino* es continuo y toma en cuenta la constante variación de las nuevas coordenadas capturadas. Cuando se satisface la condición de que se llegó al punto de destino, se invoca al módulo de *Toma de medición*, el cual envía la señal que simula la habilitación del sonar para que realice la medición profundidad.

Finalizado el proceso de *Toma de medición* se entra en el módulo de *Nueva ruta*, éste se encarga de establecer el siguiente punto de destino del sistema, y si se da el caso de que no existen más puntos por buscar se frena el proceso general. Seguidamente se explicaran detalladamente los módulos mencionados anteriormente con la ayuda de un respectivo diagrama de flujo.

## **5.2 Módulo Inicialización**

Este módulo se encarga de configurar los puertos serie y de inicializar variables globales importantes. En la figura 5.2 se muestran los procesos que conforman este módulo.



**Figura 5.2.** Diagrama de flujo del módulo de Inicialización.

Este módulo está conformado por un único procedimiento llamado Inicialización, en el cual lo primero que se ejecuta es la configuración del puerto serie 0 para transmitir datos a la computadora portátil a 9600 baudios, luego configura el puerto serie 1 para recibir datos del kit de GPS a 4800 baudios. Seguidamente se configuran las ocho patillas del puerto T de I/O (PORTT) como salidas para conectar en ellas LED's que funcionarán como luces indicadoras y direccionales.

Por último, se le asignan valores importantes a ciertas variables globales para que el sistema trabaje adecuadamente. La primera de ellas es una variable denominada *pasada*, esta variable contiene el número del ciclo de búsqueda en que se encuentra el sistema; por ejemplo, si se va a buscar al primer punto de destino *pasada* tendrá un valor de uno, si se está tratando de llegar al segundo punto de destino de la ruta *pasada* valdrá dos, y así sucesivamente para los diferentes puntos de destino que definen la cantidad de ciclos de búsqueda para el sistema. El valor inicial de *pasada* es cero.

Esta última variable se combina con otra llamada *final*, la cual se inicia en cero, pero cuando *pasada* llega al valor máximo, o sea, el sistema llega al último punto de destino, *final* vale uno. Por esta causa *final* igual a cero se usa como condición para mantener el programa corriendo hasta que se deje de cumplir.

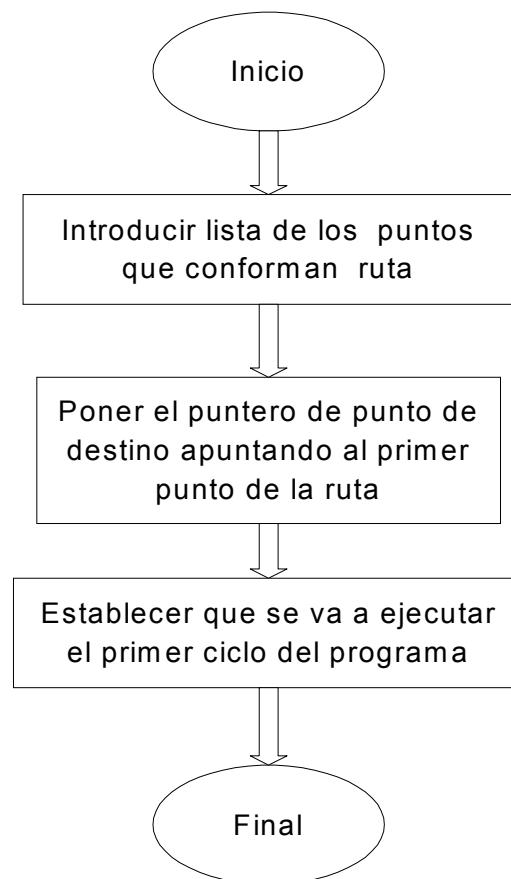
Otra variable importante es *rango*, esta variable es utilizada para definir en tamaño de la incertidumbre en centímetros que se le permite al sistema como error para ubicar el punto de destino. Para efecto de pruebas de laboratorio el valor que se le dio a *rango* fue de 450 centímetros.

### **5.3 Módulo Establecer Ruta**

Una vez inicializado el sistema, en este módulo se procede a crear una lista de arreglos de dos posiciones que contienen las coordenadas de los puntos que conforman la ruta que se desea seguir. Para cada punto de destino que conforma la ruta existe un arreglo de este tipo. En la primera posición de estos arreglos se encuentra el equivalente en centímetros de la latitud del punto, mientras que en la segunda posición aparece el mismo equivalente pero para la longitud; la dirección se denota con un signo menos en la latitud si ésta es Sur, y en el caso de la longitud si la dirección que se desea expresar es Oeste.

Una vez que se terminan de definir los puntos de la ruta (en el programa prototipo se definió una ruta de cuatro puntos), se procede a establecer al punto de destino al primer punto de la lista mediante la colocación de un puntero a apuntar hacia su posición en memoria.

Por último, se le da a la variable pasada que se explicó en el módulo de Inicialización un valor de uno, indicando de esta manera que se va a realizar el primer ciclo de búsqueda del programa. En la figura 5.3 se ilustra este proceso.



**Figura 5.3.** Diagrama de bloques del módulo Establecer Ruta.

## 5.4 Módulo Recepción de Datos

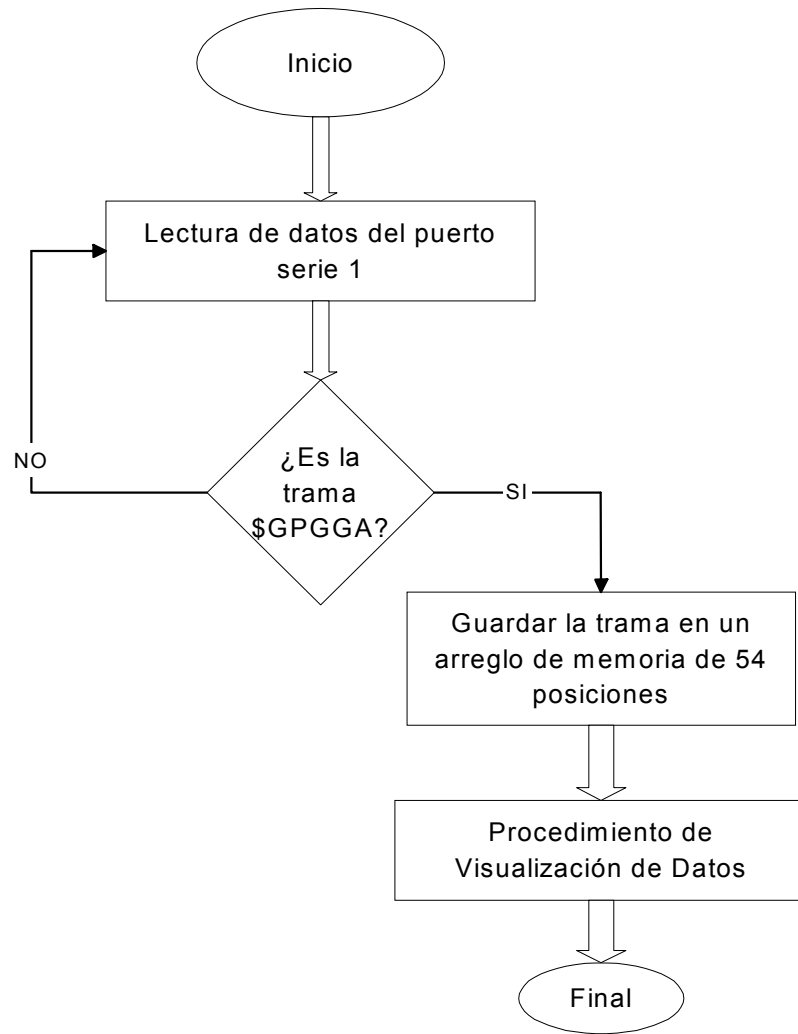
En este módulo se aplica un algoritmo para reconocer específicamente la trama *GGA-Global Positioning System Fix Data* de las otras cuatro tramas de información provenientes del kit de GPS, para mayor información sobre estas tramas o comandos refiérase al *Anexo B.2*.

La información es capturada por el puerto serie 1, su protocolo es NMEA y se encuentra en código ASCII. Si esta información capturada no corresponde con el encabezado de la trama especificada (la cual es: \$GPGGA) el programa sigue chequeando los caracteres leídos hasta encontrar el indicado.

Una vez que el algoritmo detecta uno a uno los caracteres del encabezado de la trama, el procedimiento entra en una rutina de almacenamiento de los caracteres recibidos en un arreglo de 54 posiciones de memoria, dentro de este arreglo se encuentran ahora los datos de latitud, longitud, sus respectivas direcciones y el número de satélites con los cuales la tarjeta de GPS realizó el cálculo de los mismos.

Completado el almacenamiento de la información, se realiza la invocación al módulo Visualización de Datos. Esta acción cierra las funciones de éste módulo. Para reforzar las declaraciones anteriores observe la figura 5.4 que muestra un diagrama de flujo del proceso del mismo.





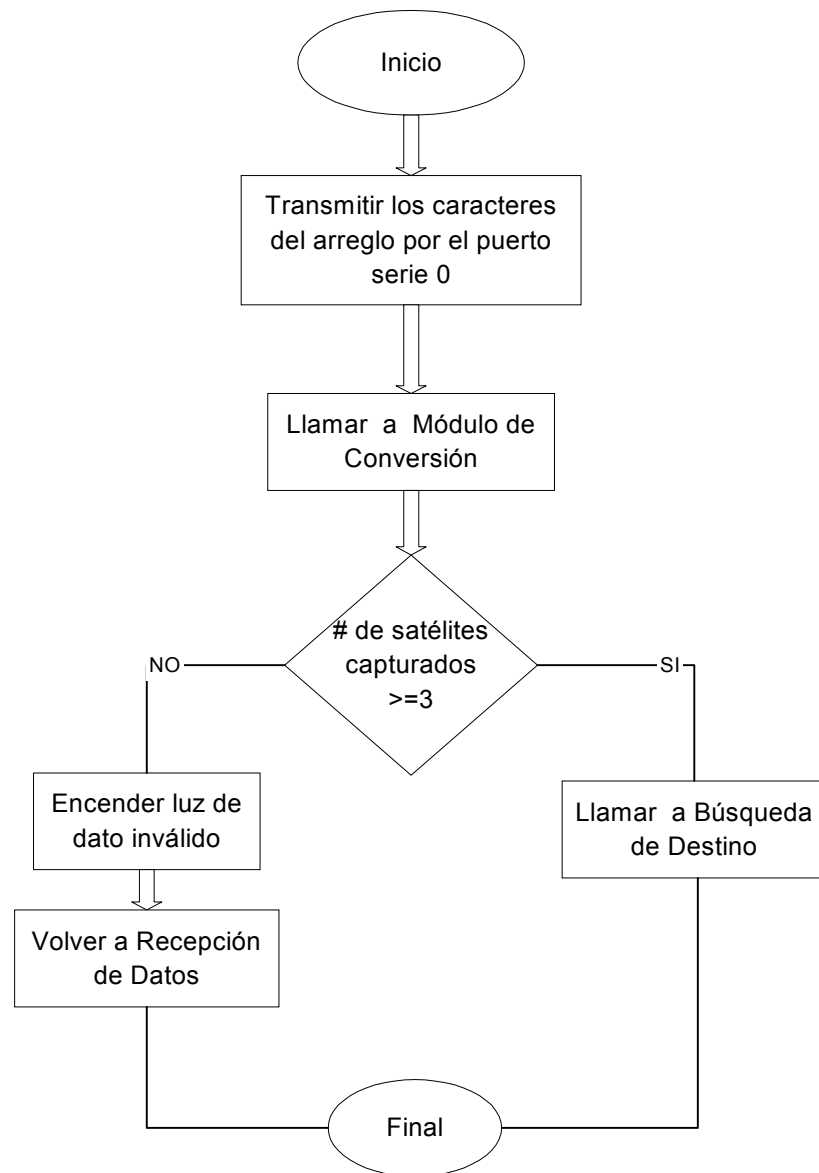
**Figura 5.4.** Diagrama de bloques del módulo Recepción de Datos.

## 5.5 Módulo Visualización de datos

Este es un módulo muy importante para lograr que el programa logre su cometido. En la figura 5.5 aparece el diagrama de flujo de este módulo, el cual se describe seguidamente.

Sabiendo que en el arreglo de memoria de 54 posiciones se tienen guardados los datos suficientes para los intereses del sistema, se procede a efectuar una operación a favor del control de la situación por parte del usuario; se habilita el puerto serie 0 y se procede a transmitir uno a uno los caracteres almacenados en el arreglo hacia el puerto serie de la computadora portátil, la cual debe únicamente tener abierto un monitor de puerto serie para que el usuario constate cuales son las coordenadas actuales durante los recorridos de prueba del prototipo.

Cuando se terminan de enviar a pantalla todos los caracteres del arreglo, se llama al módulo *Conversión*, el cual se explicará más adelante. Cuando se termina de ejecutar el módulo *Conversión*, el programa vuelve al módulo *Visualización* de datos. Cuando regresa realiza una selección, si el número de satélites capturados es igual o mayor que 3 (número mínimo de señales para realizar una triangulación para calcular distancias), el programa salta al módulo de *Búsqueda de Destino*; de no ser así, se determina que el dato es inválido y se envía al puerto T la orden de encender una luz que lo indique, para luego volver al modulo de *Recepción de Datos* a esperar un dato correcto.



**Figura 5.5.** Diagrama de bloques del módulo Visualización de Datos.

## 5.6 Módulo Conversión

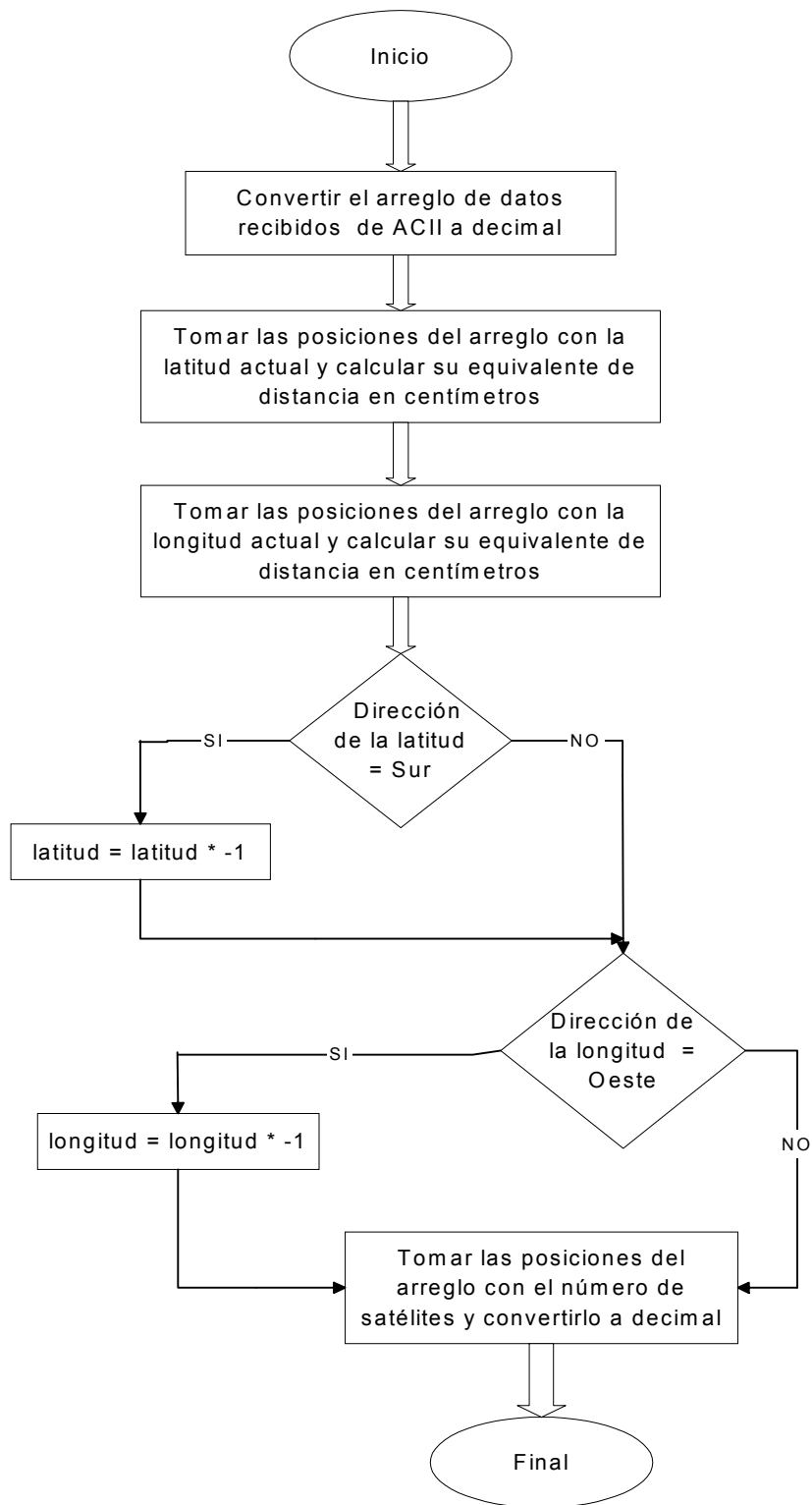
En este módulo se recurre a un procedimiento llamado *Convierte\_decimal* para convertir cada posición del arreglo con los datos de coordenadas de ACII a decimal. Se procede a tomar cada posición importante del arreglo y se le aplica la conversión a decimal, el resultado se guarda en otro arreglo de memoria de 54 posiciones pero que contendrá los dígitos en decimal.

Teniendo a disposición números en decimal se procede luego a tomar los valores de los grados, minutos y diezmilésimas de minuto para la latitud y para la longitud se procede a calcular un equivalente de distancia en centímetros para cada coordenada mediante la *ecuación 1*, donde cada elemento se multiplica por su equivalente real y tangible de distancia.

$$Distancia\_cm = grados * 11070000 + minutos\_enteros * 184500 + fracciones\_minuto * 18 \quad (1)$$

Algo muy importante es como se tratará el asunto de la dirección de las coordenadas, apegándose a la nomenclatura universal para expresar las coordenadas en los mapas se tomará la latitud Sur como latitud negativa, mientras que las longitudes Oeste como longitudes negativas. Para ilustrarlo observe la figura 2.3 del capítulo 2.

Para implementar esto al programa se aplica un pequeño algoritmo, éste pregunta si la dirección de la latitud es Sur, si lo es multiplica la latitud por  $-1$ ; por lo contrario, si la dirección es Norte la latitud se deja positiva. De igual manera, si la dirección de la longitud es Oeste, ésta se multiplica por  $-1$  para volver negativa su magnitud; pero si la dirección es Este, la magnitud se deja positiva. Este proceso se puede observar más claramente en la figura 5.6 donde aparece el diagrama de flujo de este módulo.



**Figura 5.6.** Diagrama de bloques del módulo de Conversión.

## 5.7 Módulo Búsqueda de Destino

Cuando se obtienen los valores reales de longitud y latitud actuales, estos son comparados con los valores de latitud y longitud del punto de destino, los cuales se encuentran en la lista de puntos de destino de la ruta y son los que se encuentran en ese instante apuntados por el puntero de punto de destino.

Después que de que se cuenta con ambos datos, se procede a calcular la diferencia entre ambos puntos de la siguiente manera:

$$\text{dif\_lat} = \text{latitud\_actual} - \text{latitud\_destino} \quad (2)$$

$$\text{dif\_lon} = \text{lon\_actual} - \text{longitud\_destino} \quad (3)$$

La variable dif\_lat de la *ecuación 2* contendrá el valor de la diferencia de latitudes entre la posición actual y el punto destino, mientras que dif\_lon hará lo mismo pero con la longitud como lo muestra la *ecuación 3*. Estas variables desempeñan un papel muy importante en la decisión de desplazarse para llegar al punto geográfico de destino.

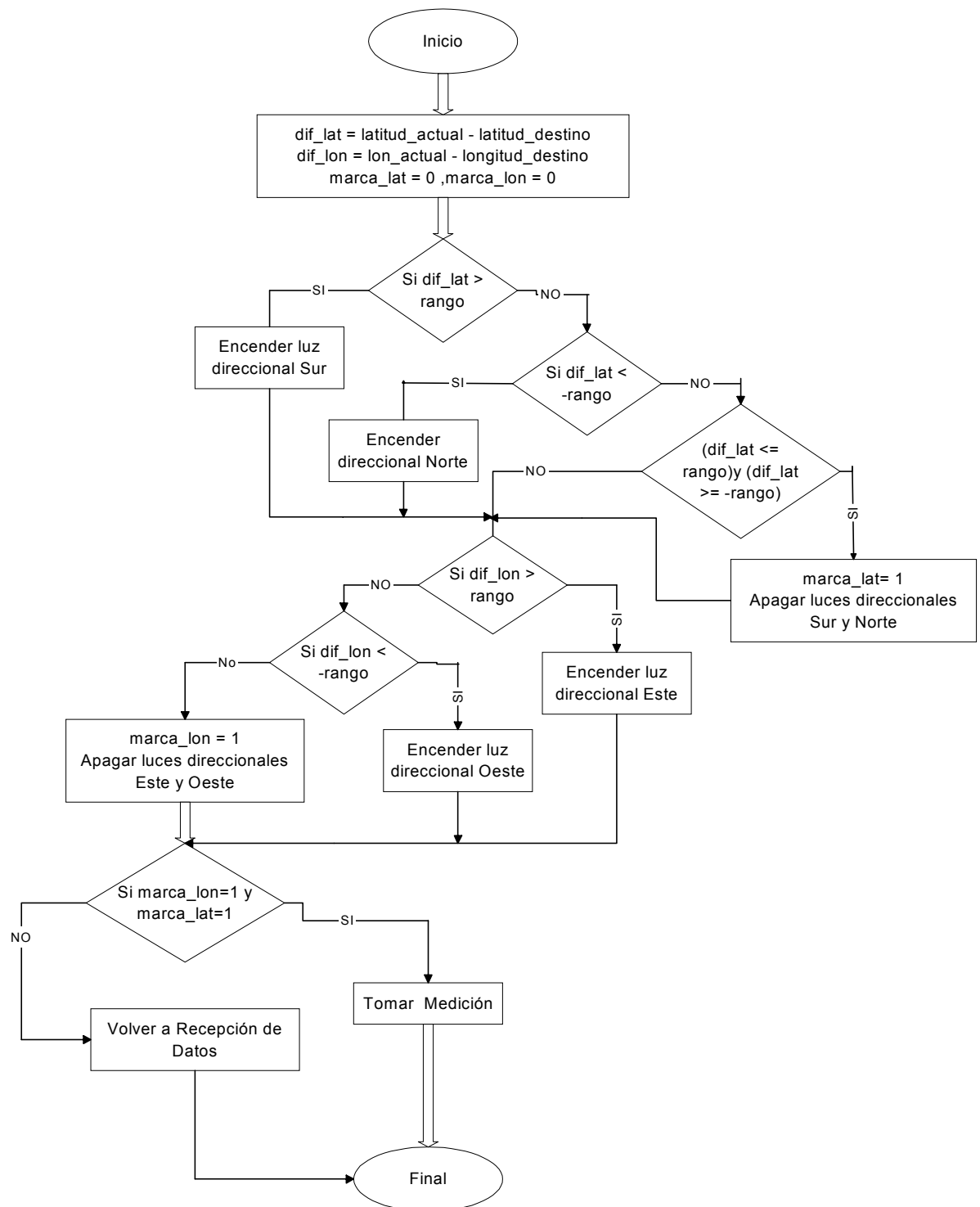
Con las diferencias de las coordenadas y dependiendo de si son positivas o negativas se creó un algoritmo que permite determinar con certeza hacia que dirección debe de desplazarse el sistema para ubicarse sobre las coordenadas de destino.

Entrando en detalles del algoritmo utilizado, el cual se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 5.7, primero se debe justificar la aparición de unas variables denominadas *marca\_lat* y *marca\_lon*; éstas fueron creadas con el objetivo de que cuando se detecte que la latitud o la longitud de la posición actual se encuentren dentro del *rango* de aceptación para la posición destino, las variables mencionadas tomen el valor de uno. El valor del rango de aceptación es el contenido de la variable global llamada *rango*, la cual fue explicada en el módulo *Inicialización*.

Cuando el sistema se encuentra dentro del rango para la latitud; *marca\_lat* tomará el valor de uno, si se halla dentro del rango para la longitud *marca\_lon* valdrá uno también. En el caso en que ambas marcas valgan uno, se asegura entonces que el punto actual del sistema equivale al punto de destino, en ese instante se llama al módulo de *Toma de Medición*.

Pero antes de llegar hasta este punto del algoritmo, se debe de tomar en cuenta que para alcanzar esta determinación es estrictamente necesario que el sistema se desplace correctamente hasta las coordenadas deseadas, para ello el operador debe seguir las luces direccionales que el prototipo indica seguir.

El algoritmo primero analiza la latitud, pregunta por la diferencia entre la latitud actual y la destino la cual se encuentra guardada en *dif\_lat*, si *dif\_lat* es mayor que el rango permitido significa que la latitud de destino es menor que la actual, por lo tanto se debe encender la luz indicadora que el sistema debe moverse hacia el Sur buscando latitudes inferiores; si por lo contrario, *dif\_lat* es menor que el rango negativo significa que la latitud actual se halla por debajo de la latitud destino, por lo cual el desplazamiento debe hacerse hacia el Norte.



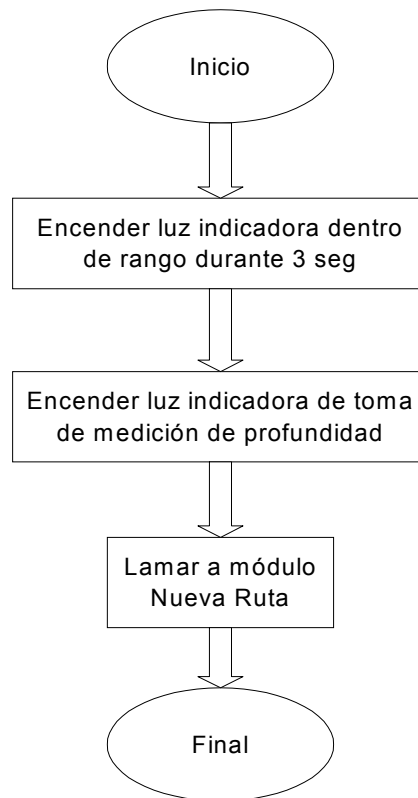
**Figura 5.7.** Diagrama de bloques del módulo Búsqueda de Destino.



Analizando ahora la longitud, si se obtiene una dif\_lon mayor que el rango se debe a que la longitud actual es mayor que la destino, por esta razón se debe de activar la luz direccional que indica que se debe realizar un desplazamiento hacia el Este, con el fin de tratar de reducir la diferencia. Pero si más bien la dif\_lon es más negativa que el rango permitido el sistema debe indicar el movimiento hacia el Oeste, debido a que esto ocurre cuando la longitud actual es menor que la destino. Si surgen dudas en el manejo de las coordenadas y los sentidos de desplazamiento refiérase a la *figura 2.3 del Capítulo 2* de este documento, en ésta aparece el sistema de coordenadas utilizado para este algoritmo.

## **5.8 Módulo Toma de Medición**

Este procedimiento es sumamente sencillo, únicamente se encarga de indicar al usuario que el sistema se halla dentro del rango del punto de destino encendiendo una luz durante 3 segundos, luego enciende otra luz que simula la señal que el microprocesador le envía al sonar para realizar la medición del fondo del embalse, y finalmente se invoca al módulo *Nueva Ruta*. El diagrama de flujo se puede observar en la figura 5.8.



**Figura 5.8.** Diagrama de bloques del módulo Toma de medición.

## 5.9 Módulo Nueva Ruta

Este módulo se encarga de llevar el orden de cómo el sistema se tiene que ir desplazando por los puntos de destino de la ruta guardada en memoria por el módulo de Inicialización.

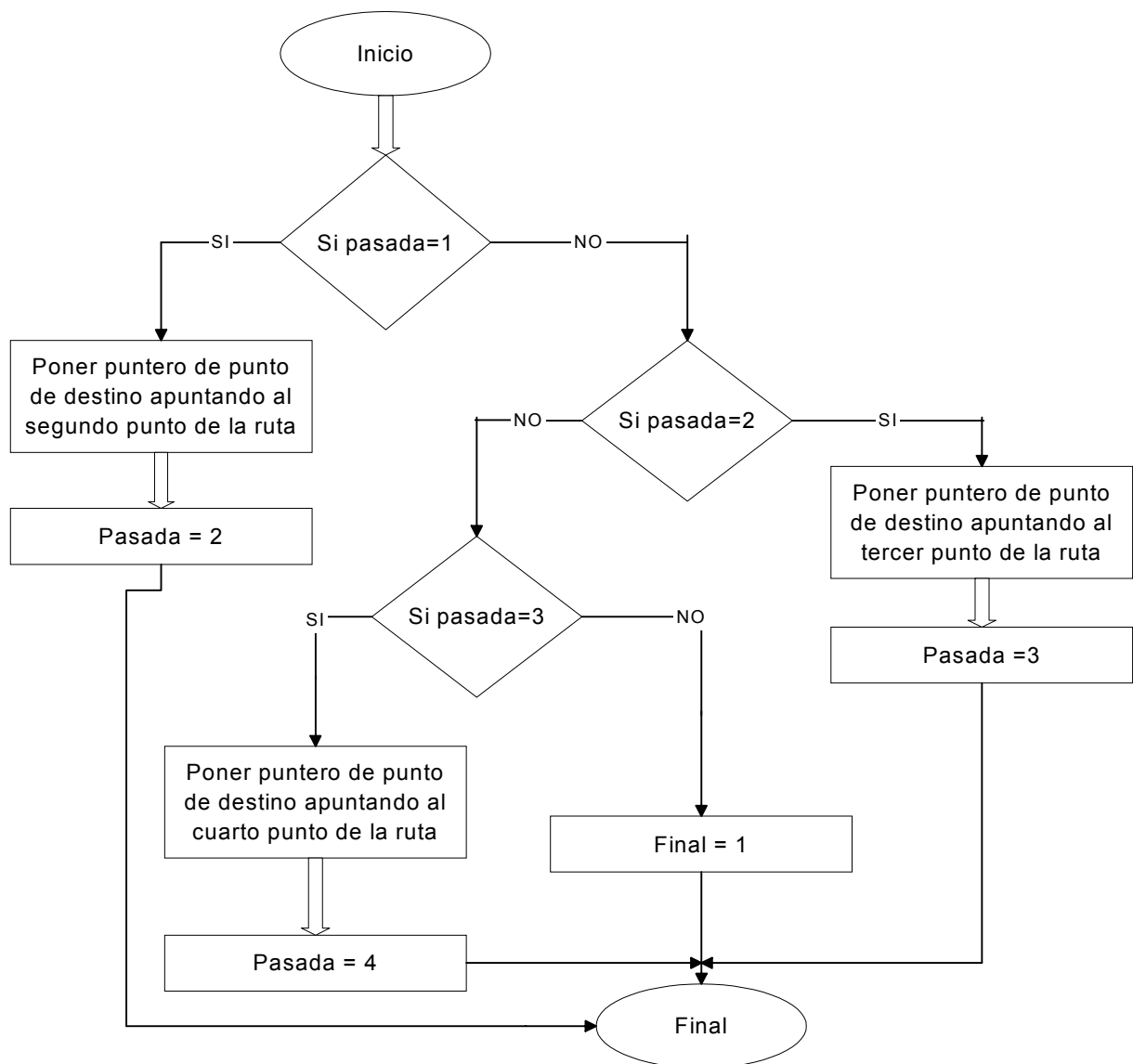
Con la ayuda de la variable global denominada *pasada* que fue explicada con la inicialización, el procedimiento de Nueva Ruta determina en cual de los ciclos de búsqueda se encuentra el sistema.

Si al entrar a este módulo *pasada* vale uno, significa que recién se ubicó el primer punto de destino de la lista; por lo tanto, simplemente se coloca ahora al puntero de punto de destino sobre el segundo punto de la lista y *pasada* toma un valor de dos para indicar que se va a realizar el segundo ciclo de búsqueda.

Si *pasada* vale dos, se coloca el puntero a apuntar al tercero de los puntos de la lista y a la variable *pasada* se le asigna un valor de tres. Analógicamente ocurre lo mismo si *pasada* vale tres, se pone el puntero hacia el cuarto punto de la lista y *pasada* pasa a valer cuatro.

Para este prototipo el número de puntos de destino utilizados fue de cuatro, pero para utilizar más, únicamente se debe ampliar este módulo y la lista de puntos de la ruta. El diagrama de flujo de este módulo aparece en la figura 5.9.

Cuando se terminan los puntos de destino en la lista, el programa termina de operar y el sistema también, esperando un reseteo para volver a recorrer la ruta guardada en el programa o recorrer otra diferente luego de que se le cargue un programa con una ruta modificada.



**Figura 5.9.** Diagrama de bloques del módulo Nueva Ruta.

## CAPITULO 6

### COSTOS DEL PROYECTO

---

#### 6.1 Recursos necesarios para la elaboración del proyecto.

**Tabla 6.1.** Materiales para la elaboración del proyecto.

Recurso	Cantidad	Costo total (dólares)
Tarjeta GPS (GPS Development Kit #DK-ER101)	1	165
Tarjeta módulo microcontrolador (ADAPT12DXLT)	1	200
Manuales de las tarjetas	2	-
Manual programación en C	1	25
LED's	8	2
Bastidor	1	-
Otros	-	-

**Tabla 6.2.** Equipo para la elaboración del proyecto.

Recurso	Cantidad	Costo (dólares)
Computadora	1	800
Tester	1	80
Programador Microcontrolador por software	1	20
C Programer	1	20
PC portátil	1	800
Osciloscopio	1	2000

**Tabla 6.3.** Servicios personales para la elaboración del proyecto.

Recurso	Cantidad	Costo (dólares)
Estudiante de ingeniería electrónica	1	1000

**Tabla 6.4.** Servicios no personales para la elaboración del proyecto.

Recurso	Cantidad	Costo (dólares)
Internet	100 horas	80

**Tabla 6.5.** Infraestructura necesaria.

Recurso	Cantidad	Costo (dólares)
Oficina	1	200
Laboratorio	1	200

Estimado del costo total del proyecto: \$4592

## 6.2 Recursos disponibles en la empresa.

**Tabla 6.6.** Equipo disponible en la empresa.

Recurso	Costo (dólares)	% Tiempo disponibilidad en el proyecto
Computadora	800	100
Tester	80	100
Programador Microcontrolador	20	80
PC portátil	800	20
Osciloscopio	2000	100

**Tabla 6.7.** Servicios personales disponibles en la empresa.

Recurso	Costo (dólares)	% Tiempo disponibilidad en el proyecto
-	-	-

**Tabla 6.8.** Infraestructura disponible en la empresa.

Recurso	Costo (dólares)	% Tiempo disponibilidad en el proyecto
Oficina	200	100
Laboratorio	200	100

**Tabla 6.9.** Materiales disponibles en la empresa.

<b>Recurso</b>	<b>Costo (dólares)</b>	<b>% Disponibilidad en el proyecto</b>
Tarjeta GPS (GPS Development Kit #DK-ER101)	165	100
Tarjeta adquisición de datos(ADAPT12DXLT)	200	100
Bastidor	-	100
Manuales de las tarjetas	-	100

Monto total de los recursos disponibles en la institución para realizar el proyecto:  
\$3670

### 6.3 Recursos que la empresa debió adquirir para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 6.10.** Materiales adquiridos.

<b>Recurso</b>	<b>Costo (dólares)</b>	<b>Está presupuestado</b>	<b>% Tiempo disponibilidad en el proyecto</b>	<b>Se consiguen en el país o en el extranjero</b>	<b>Nombre y dirección del proveedor</b>	<b>Tiempo de entrega (semanas)</b>
LED's	2	Si	30	país	Teltron, 25 sur Banco Popular, San José	1
Otros	----	No	100	Extranjero y en el país	-----	----



**Tabla 6.11.** Servicios personales adquiridos.

Recurso	Costo (dólares)	Está presupuestado
Estudiante de ingeniería electrónica	1000	Si

**Tabla 6.12.** Servicios no personales adquiridos.

Recurso	Está presupuestado	Costo (dólares)	Tiempo de entrega (semanas)
Internet	Si	80	-

Total de recursos que debe adquirir la empresa: \$1882

## **CAPITULO 7**

### **MEDICIONES**

---

#### **7.1 Pruebas de exactitud de coordenadas para el kit de GPS.**

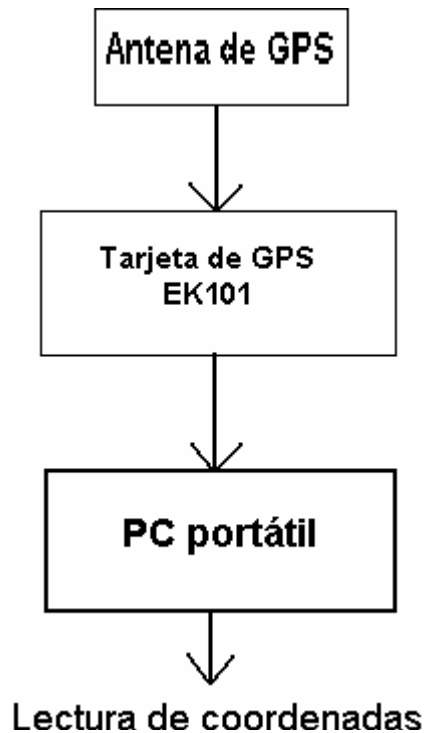
Estas pruebas de exactitud se realizaron con el objetivo de determinar el rango de variación de las coordenadas de GPS en un mismo punto geográfico. Las mediciones se realizaron diez veces en un mismo punto con el fin de obtener una muestra representativa y válida de datos para poder ser analizada.

##### **7.1.1 Procedimiento de medición**

Para ejecutar esta prueba de exactitud se recurrió únicamente al kit de GPS #DK ER-101 y de una computadora portátil para visualizar las coordenadas en el sitio, las cuales se desplazaron por medio de un automóvil para ubicar los puntos de prueba. En la figura 7.1 aparece un croquis del sistema utilizado para las pruebas.

Las mediciones se realizaron el 3 de noviembre, bajo condiciones climáticas de cielo despejado y soleado, óptimas para capturar la mayor cantidad señales de satélites para calcular las coordenadas.

Los sitios escogidos fueron: Pozos de Santa Ana, Ciudad Colón y frente a Forum en Santa Ana.



**Figura 7.1** Croquis del sistema usado para las pruebas de exactitud para el kit de GPS.

La captura de los datos se realizó de la siguiente manera:

- Se posicionó estáticamente el automóvil con la antena de GPS en el punto de prueba.
- Se corrió el programa en la PC portátil para observar las coordenadas del punto, y se tomó el primer dato.
- Para tomar los otros datos se cerró el programa y se volvió a cargar, teniéndose así una medición distinta del mismo punto.

Una vez que se obtuvo una muestra de datos representativa se procedió a tabular los datos y evaluar los resultados.

### 7.1.2 Datos Experimentales

Las siguientes tablas contienen los datos adquiridos después de realizar las pruebas en distintos lugares de San José. La tabla 7.1 presenta los datos recolectados en Pozos de Santa Ana a las 10:30 am, la tabla 7.2 contiene mediciones efectuadas en la autopista Próspero Fernández, frente a Forum en Santa Ana a eso de las 11:00 am. Por último, la tabla 7.3 muestra las mediciones realizadas en Ciudad Colón, en la esquina S-E de la plaza de deportes, éstas se realizaron a las 11:30 am.

**Tabla 7.1** Medición de exactitud de coordenadas en Pozos de Santa Ana.

# Medición	Latitud (N)	Longitud (O)	Satélites	Calidad /Señal	Error lat (m)	Error lon (m)
1	9° 57' 57.23"	84° 11' 24.09"	6	20.7	3.57	1.41
2	9° 57' 57.24"	84° 11' 24.12"	6	21.2	3.26	2.34
3	9° 57' 57.31"	84° 11' 24.04"	9	32.1	1.11	0.12
4	9° 57' 57.32"	84° 11' 24.01"	9	29.4	0.8	1.05
5	9° 57' 57.28"	84° 11' 24.02"	9	29.2	2.03	0.74
6	9° 57' 57.31"	84° 11' 24.01"	9	28.9	1.11	1.05
7	9° 57' 57.33"	84° 11' 24.06"	9	29.2	0.5	0.5
8	9° 57' 57.35"	84° 11' 24.04"	9	29	0.12	0.12
9	9° 57' 57.35"	84° 11' 24.04'	9	28.9	0.12	0.12
10	9° 57' 57.37"	84° 11' 24.01"	9	28.8	0.74	1.05

**Tabla 7.2** Medición de exactitud de coordenadas frente Forum, Santa Ana.

# Medición	Latitud (N)	Longitud (O)	Satélites	Calidad/ Señal	Error lat (m)	Error lon (m)
1	9° 56' 37.67"	84° 11' 35.19"	8	29.5	2.43	0.74
2	9° 56' 37.67"	84° 11' 35.16"	8	29.3	2.43	0.18
3	9° 56' 37.62"	84° 11' 35.16"	9	32.5	0.89	0.18
4	9° 56' 37.58"	84° 11' 35.16"	9	35.9	0.34	0.18
5	9° 56' 37.57"	84° 11' 35.19"	9	36.3	0.65	0.74
6	9° 56' 37.57"	84° 11' 35.16"	9	36.5	0.65	0.18
7	9° 56' 37.57"	84° 11' 35.16"	9	36.6	0.65	0.18
8	9° 56' 37.56"	84° 11' 35.16"	9	36.4	0.95	0.18
9	9° 56' 37.56"	84° 11' 35.16"	9	36.3	0.95	0.18
10	9° 56' 37.54"	84° 11' 35.16"	9	36.1	1.57	0.18
Promedio	9° 56' 37.591"	84° 11' 35.166"	8.8	34.54	1.151	0.292

**Tabla 7.3** Medición de exactitud de coordenadas en Ciudad Colón.

# Medición	Latitud (N)	Longitud (O)	Satélites	Calidad /Señal	Error lat (m)	Error lon (m)
1	9° 54' 49.60"	84° 14' 30.09"	9	36.1	0.95	1.9
2	9° 54' 49.59"	84° 14' 30.03"	8	32.2	1.26	0.06
3	9° 54' 49.60"	84° 14' 30.01"	9	36.2	0.95	0.55
4	9° 54' 49.64"	84° 14' 30.01"	8	32.6	0.28	0.55
5	9° 54' 49.66"	84° 14' 30.03"	8	32.7	0.89	0.06
6	9° 54' 49.66"	84° 14' 30.03"	8	32.6	0.89	0.06
7	9° 54' 49.65"	84° 14' 30.03"	9	36.7	0.58	0.06
8	9° 54' 49.66"	84° 14' 30.01"	9	36.5	0.89	0.55
9	9° 54' 49.62"	84° 14' 30.03"	9	36.2	0.34	0.06
10	9° 54' 49.63"	84° 14' 30.01"	9	36.2	0.03	0.55
Promedio	9° 54' 49.631"	84° 14' 30.028"	8.6	34.8	0.706	0.44

El rublo llamado satélites muestra el número de satélites que se utilizan para calcular la coordenada, para este kit de GPS el máximo de satélites que puede recibir a la vez son 12. El denominado calidad de señal es un dato que determina el grado de calidad en la recepción de las señales de los satélites, donde 50 es el máximo.

Los errores de latitud y de longitud representan la diferencia de estos valores con respecto al valor promedio. Vale la pena apuntar que como se puede observar en las tablas, la variación en las coordenadas disminuye si la cantidad de satélites involucrados aumenta.

Los resultados obtenidos de exactitud son satisfactorios, debido a que se corroboró una exactitud de aproximadamente 1.3 metros en los peores de los casos, y en algunas ocasiones hasta por debajo del metro.

## CAPITULO 8

### ANALISIS DE RESULTADOS

---

#### 8.1 Explicación del diseño

Los detalles del formato y de como son tratados los datos de entrada y de salida en el programa del microcontrolador se explican en el capítulo 5, llamado “Descripción del Software”. En el presente capítulo se hará una referencia general a la solución del proyecto, explicando aspectos de hardware y tocando aspectos software del microprocesador, pero sin ahondar en detalles técnicos.

El problema consta técnicamente del acople de dos módulos por medio de un puerto serie RS-232 de manera que el primero le brinde la información de las coordenadas de posición actual al segundo, y este logre por medio de un algoritmo programado en su memoria seguir una ruta preestablecida.

El primer módulo es un kit de GPS, el GPS Development Kit #DK-ER101, el cual consta de una antena y de una pequeña tarjeta integrada que se encarga de enviar las coordenadas cardinales de posición vía puerto serie en código ASCII utilizando el protocolo NMEA 0183, el cual expresa dichas coordenadas en el siguiente formato:

```
$GPGGA,HHMMSS.sss,DDMM.mmmm,d,DDDMM.mmmm,d,q,ss,h,h,a,a,z,,, *CC<C  
R><LF>
```

donde la información que interesa es la siguiente:

DDMM.mmmm,d    Latitud Norte/Sur

DD:                    Grados de 00 a 90

MM.mmmm            Minutos de 00:0000 a 59.9999

d Dirección Norte o Sur

DDMM.mmmm,d Longitud Este/Oeste

DDD: Grados de 00 a 180

MM.mmmm Minutos de 00:0000 a 59.9999

d Dirección Este u Oeste

Este es el comando de salida \$GPGGA, que interesa para el desarrollo del proyecto, debido a que contiene las coordenadas de la posición actual en notación cardinal. Para reconocer que significado tienen las letras de este comando refiérase al *Anexo B.2* donde se detallan los significados de los datos contenidos en cada uno de los comandos NMEA de este kit de GPS.

Como se puede notar en la notación de las coordenadas, los minutos se expresan con cuatro decimales, estos representan la cantidad de diezmilésimas de minuto.

La precisión del kit de GPS es de 25 metros para este modelo; y cuenta con una exactitud menor a los 1.3 metros en el peor de los casos si se cuenta con señales con 9 satélites de respaldo, este dato proviene de las pruebas de exactitud realizadas y descritas en el capítulo 7 de este mismo informe.

En estas pruebas se corroboró que la exactitud de este kit de GPS era lo suficientemente buena como para lograr diferenciar puntos con al menos a 5 metros de distancia uno de otro sin que la oscilación de las coordenadas recibidas afecte. Este rango de exactitud fue el establecido por la empresa como parámetro mínimo de funcionamiento del prototipo.



En la tabla 7.1 se muestran los datos colectados en Pozos de Santa Ana, se puede observar como el número de satélites influye en la estabilidad de las coordenadas que brinda la tarjeta de GPS; los datos con seis satélites tuvieron un error con respecto al valor promedio de más de tres metros, mientras que las coordenadas que fueron calculadas con nueve referencias satelitales mostraron fluctuaciones mucho menores. Lo mismo se puede apreciar en las tablas 7.2 y 7.3 con los datos tomados frente a Forum en Santa Ana y en Ciudad Colón respectivamente, aquí los datos con ocho satélites mostraron un margen más alto de desviación con respecto al promedio que los datos con nueve satélites.

En las pruebas efectuadas se recibió un número máximo de satélites de nueve, el cual resulta una excelente referencia teniendo en cuenta que esta tarjeta de GPS posee únicamente doce canales de recepción.

Por lo tanto, se puede concluir que la exactitud mejora proporcionalmente con el número de satélites recibidos; otros factores influyentes son el tipo de relieve geográfico de la zona donde se realicen las mediciones, la velocidad con que viaja el equipo y las condiciones climáticas.

Una vez comprendida la configuración del kit de GPS y su funcionamiento dentro de la solución del problema se puede explicar el funcionamiento del segundo módulo de hardware, el cual se encuentra conformado por un sistema mínimo controlado por un microprocesador Motorola MC68HC812A4, este sistema mínimo consiste de una tarjeta integrada llamada ADAPT812DXLT.

Esta tarjeta posee dos puertos serie RS-232, uno de los cuales va conectado a una computadora portátil para poder visualizar los datos de las coordenadas actuales, mientras el otro se conecta con la salida del kit de GPS.

El microprocesador es programado de manera que identifique correctamente el comando de salida \$GPGGA proveniente de la tarjeta de GPS, guarda las coordenadas actuales y las procesa. En este punto entra en función el algoritmo que debe tratar de indicarle al sistema completo como llegar al punto de destino. Los puntos de destino están gravados en la memoria del microprocesador junto con el programa como una lista estática cuyos elementos son accesados por medio de un puntero.

Las coordenadas actuales de entrada deben ser convertidas a unidades enteras de longitud para poder ser cuantizadas y operadas por el microprocesador, para ello se recurrió a un procedimiento que tome los diferentes caracteres ASCII de las coordenadas y los convierta en números enteros.

Ya convertidas las coordenadas, se procede a calcular una equivalencia entre los valores en grados y minutos por un valor en distancia que representan en la realidad, por ejemplo, se conoce que un minuto equivale a 1845 metros; la tarjeta de GPS tiene una resolución máxima de 0.0001 minutos, lo cual indica que 0.0001 minutos equivalen aproximadamente a 18.45 cm (redondeado a 18 cm para tener un valor entero); entonces es posible obtener un valor equivalente entero en centímetros si aplicamos la *ecuación 1* mostrada en el capítulo 5, apartado 5.6.

Antes de proceder a realizar cálculos matemáticos o indicar direcciones hacia donde mover el sistema, se corrobora si la señal de GPS tiene la validez suficiente como para ser considerada veraz. Esto se realiza revisando el número de satélites de los cuales el kit de GPS obtiene información. El mínimo número de satélites para poder calcular latitud y longitud es de tres, pero entre mayor sea el número se mejora la exactitud y precisión. Para el prototipo se eligió un número de tres satélites mínimo.

Con los valores de longitud y latitud enteros es sencillo aplicar el algoritmo de búsqueda del punto de destino, donde una simple resta permite definir hacia que sentido debe desplazarse el sistema para alcanzar la coordenada meta. Una serie de luces direccionales indican hacia que dirección cardinal se debe desplazar el sistema para llegar hasta el punto de destino programado. En la sección 5.7 de este informe se explica detalladamente el algoritmo de este proceso.

El desplazamiento del sistema debe ser realizado por medio de un operador que siga las indicaciones realizadas por las luces direccionales, siguiendo el rumbo señalado. Una luz indica moverse al Norte y otra desplazarse hacia Sur para ajustar la latitud, mientras otra luz indica el Este y una el Oeste para corregir diferencias en la longitud.

Una vez que el sistema llega a un punto de destino y ejecuta las acciones anteriores, inmediatamente se ejecuta una rutina que establece al siguiente punto de la lista de puntos de destino como el nuevo objetivo del programa; este funcionamiento se repite hasta llegar al último punto de la ruta programada.

Es importante explicar la implementación de un procedimiento de software adicional a la solución dentro del programa principal, éste permite reenviar hacia una computadora portátil vía puerto serie las coordenadas de provenientes del kit de GPS; así, es posible observarlas en pantalla mientras el sistema se encuentra en funcionamiento, esto permite corroborar visualmente la proximidad a la zona de destino. La visualización se puede realizar mediante cualquier programa de monitoreo para puerto serial.

Para ejecutar la programación del microprocesador se utilizó el compilador ICC12 V6.12B de Image Craft, el cual permite programar las tarjetas ADAPT812DXLT por medio del puerto serie RS-232. La misma computadora portátil utilizada para observar las coordenadas es utilizada para cargar el programa en el microprocesador en el sitio donde se realizan las pruebas; esto permite un completo control sobre el proceso y las modificaciones al programa se pueden ejecutar inmediatamente.

Un resultado muy importante obtenido teóricamente fue el del tiempo de respuesta del prototipo. Este representa el retardo con el que el sistema responde una vez que recibe las coordenadas actuales; éste se calculó tomando en cuenta que por las especificaciones del fabricante la tarjeta de GPS EK-101 transmite una trama de información cada 100 ms, la tarjeta transmite cinco diferentes tramas, lo que significa que en el peor de los casos el algoritmo del microprocesador deberá esperar 500 ms para recibir la trama \$GPGGA.

Una vez pasado este período, se le debe añadir el tiempo que tarda el programa en realizar los cálculos y el tiempo de respuesta de los puertos de salida para las señales luminosas, el cual por la cantidad de líneas de código representaría aproximadamente 100 ms, lo que en total nos deja un tiempo aproximado de respuesta de 600 ms como máximo.

Conociendo ahora el funcionamiento de cada módulo del prototipo se explicarán el procedimiento y los resultados obtenidos durante el proceso de prueba del prototipo:

- a) Montaje del prototipo en un automóvil, la antena se colocó en el techo y la alimentación de 12 V se tomó de la batería, las tarjetas y la PC portátil se colocaron adentro a disposición del operador.
- b) Se procedió a escoger los cuatro puntos que conformarían la ruta a recorrer. El automóvil se estacionó en los lugares seleccionados y se registraron sus coordenadas de GPS.
- c) Una vez tomadas las coordenadas de los cuatro puntos los cuales se encontraban separados por al menos 50 metros de distancia, se introdujeron los puntos en el programa del microprocesador y se cargó en el mismo.
- d) Se posicionó el automóvil con el prototipo en el primer punto de la ruta, el resultado fue satisfactorio ya que éste se logró detectar por parte del sistema a tan solo 1.5 m metros del sitio original.

- e) Inmediatamente se dispuso atender las indicaciones del panel de luces indicadoras del prototipo, ahora para hallar el segundo punto de la ruta el sistema solicitó desplazarse hacia el Noroeste; al alcanzar la misma latitud el sistema únicamente indicó moverse hacia el Oeste y finalmente se alcanzó el segundo punto de la ruta con una incertidumbre de un metro aproximadamente.
- f) El tercer punto se encontraba hacia el Sudoeste del segundo, el prototipo indicó correctamente hacia donde moverse. En este caso el tercer punto se alcanzó con un error de tres metros con respecto al punto original.
- g) El cuarto punto de la ruta fue el mismo que el primero, y el error de ubicación fue de tres metros también.

Finalmente, por medio de este procedimiento de prueba, se obtuvieron resultados tan importantes como una exactitud de tres metros en la ubicación de las coordenadas de destino, esto claro está con un número de 6 a 8 satélites durante el proceso. Como también se logró corroborar el correcto funcionamiento del algoritmo del sistema y el funcionamiento de las luces indicadoras de dirección, de llegada al destino, toma de medición y de coordenada de entrada inválida.

## 8.2 Alcances y limitaciones

El sistema prototipo implementado posee la debilidad de no poderse desplazar de manera autónoma, es necesario que un operador o usuario lo mueva de acuerdo a las instrucciones que brinda el mismo.

El programa del microcontrolador no cuenta con una rutina automática para introducir o capturar los puntos que conforman la ruta a seguir por el sistema, actualmente esto se hace modificando el programa cada vez que se desea establecer una ruta nueva. Las coordenadas de destino deben ser convertidas a centímetros antes de ser introducidas en el programa. También, si se desea introducir un número mayor de puntos a la ruta, el programa debe ser modificado y la cantidad de puntos lo limita únicamente el espacio de memoria del microprocesador.

Además, las coordenadas vistas en pantalla vienen por el puerto serie en protocolo NMEA, no se cuenta con un programa especial de visualización que brinde un formato más agradable al usuario.

Otra limitación es la cantidad de satélites de los cuales el kit de GPS logra capturar información, el prototipo únicamente funcionará cuando se cuente al menos con tres satélites para realizar una triangulación simple de la posición actual. La cantidad de satélites es afectada especialmente por las condiciones meteorológicas de la zona donde se encuentra el receptor de GPS; por tal razón, es preferible que el sistema se ponga en funcionamiento al aire libre con un cielo despejado.

En cuanto a la precisión, ya se mencionó que el kit de GPS posee una máxima de 25 metros. La exactitud depende de la cantidad de satélites capturados, pero para datos con nueve satélites de referencia se puede alcanzar una exactitud de menor de los 1.3 metros. Estos datos de exactitud se obtuvieron experimentalmente, y se encuentran tabulados en el capítulo 7.

Con estos datos de precisión y de exactitud obtenidos con este prototipo es posible calificarlos como aceptables, debido a que durante los recorridos de prueba la ubicación de los puntos se logró en rangos no mayores a los 3 metros; mostrando de esta manera que para tomar mediciones de profundidad en un embalse de amplias dimensiones, una incertidumbre de este rango no representa un problema.

Otro alcance del prototipo del sistema de navegación que es importante comentar, es que el algoritmo permite ubicar puntos de destino en cualquier coordenada geográfica dentro del globo terrestre, sin importar latitud o longitud. Esto brinda total libertad para que el sistema pueda ser utilizado a nivel nacional e internacional.

El prototipo funciona correctamente a velocidades menores a los 27 Kph, si se supera esta velocidad se corre el riesgo de que la medición sea tomada en un sitio diferente al adecuado puesto que el punto de destino puede ser sobrepasado entre una actualización de coordenadas actual y la otra. Esto se calcula con la ecuación 5.

$$\text{Veloc\_máx} = \text{rango\_incertidumbre} / \text{tiempo de respuesta del sistema} \quad (4)$$

$$\text{Veloc\_máx} = 4.5 \text{ m} / 600 \text{ ms} = 7.5 \text{ m/s} = 27 \text{ Km/h}$$



## **CAPITULO 9**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

#### **9.1 Conclusiones**

1. El uso de la tarjeta de GPS ER-101 y de la Adapt812DXLT en el proyecto permitió alcanzar los objetivos de exactitud y de funcionamiento deseado del prototipo.
2. Para lograr trabajar coordenadas geográficas en formato NMEA en operaciones aritméticas dentro del microcontrolador MC68HC812A4, es necesario transformarlas de ASCII a valores numéricos enteros, luego se debe establecer un equivalente en números enteros en unidades de longitud para los grados, minutos y segundos.
3. El tiempo de respuesta del sistema depende de la calidad del algoritmo utilizado y de la velocidad con que la tarjeta de GPS actualiza sus coordenadas.
4. La precisión y la exactitud del sistema prototipo es similar a la de los equipos GPS portátiles comerciales tipo Garmin o Magellan.
5. El costo del prototipo es menor que el de otros equipos GPS portátiles y realiza casi las mismas funciones.
6. Si las características de un problema permiten un cierto rango de error en la exactitud y precisión de las coordenadas GPS, es factible considerar el uso del GPS satelital sin ningún tipo de corrección.

7. El convertir las coordenadas geográficas a un equivalente en distancia permitió la fácil manipulación de los datos para que los algoritmos trabajaran adecuadamente en la toma de decisiones.
8. Crear diagramas de flujo para los algoritmos y separar en módulos un programa permiten una mejor noción de la solución que se le está dando al problema y permite aumentar la calidad de la misma.
9. Aplicar procedimientos cíclicos para controlar sistemas que trabajan en tiempo real permite mejorar la velocidad de la obtención de nuevos datos, así como agilizar la respuesta del sistema.
10. Entre mayor sea el número de satélites que le brindan información a un receptor de GPS, mayor es la exactitud de las coordenadas obtenidas.
11. El contar con condiciones climáticas óptimas como un cielo soleado y despejado, junto con una geografía poco accidentada ayudan indudablemente a la captura de una mayor cantidad de satélites, y por consiguiente, una mayor calidad de la señal.
12. La utilización de la tecnología de GPS en el control de sistemas móviles es un campo casi inexplorado y con un potencial inmenso para el campo de la robótica y la automatización de sistemas.
13. Debido a las características de procesamiento de datos del programa desarrollado y de la adquisición de datos por parte del GPS, se logró establecer que la velocidad máxima para un funcionamiento correcto del sistema es de 40 Kph aproximadamente.

14. El ruido eléctrico y magnético afectan negativamente el correcto funcionamiento de los equipos del prototipo, especialmente la recepción del kit de GPS.
15. Utilizar un automóvil para transportar el prototipo fue un factor muy importante para agilizar las pruebas de funcionamiento del sistema.

## 9.2 Recomendaciones

1. Con el fin de mejorar la exactitud y precisión del sistema se recomienda la utilización del DGPS, con el cual se pueden alcanzar errores de pocos centímetros en la exactitud.
2. Cuando se trabaja con diferentes tipos de módulos para desarrollar la solución de un problema, es importante primero estudiar a fondo sus características, tales como: puertos y protocolos de comunicación, cantidad de espacio de memoria, comandos de programación, dimensiones y otros
3. Para mejorar el algoritmo de búsqueda de los puntos de destino y poder calcular el ángulo con el cual debe desplazarse el sistema para ubicarlo, sería pertinente utilizar un microprocesador que pueda trabajar con números reales y permita ejecutar funciones trigonométricas, como por ejemplo el PIC16877 de Microship.
4. Cuando se vaya a implementar el prototipo móvil del sistema, sería conveniente desarrollar un programa en alto nivel que permita crear la lista de los puntos de destino y grabarlos en una memoria que el programa del sistema pueda acceder.
5. Por razones de protección se recomienda que el futuro prototipo mantenga todos sus componentes electrónicos protegidos de la intemperie, excepto claro está de la antena de GPS.
6. Cuando se implementa un programa con un microprocesador es una buena costumbre de programación realizar una separación en módulos del algoritmo general, esto permite una fácil detección de fallas.

## BIBLIOGRAFIA

---

### 1) Documentos

- a) Motorola, Inc. *HC12, MC68HC812 Advance Information*. USA: Motorola, 1999.
- b) RTCM Special Committee No.104. *RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service*. Versión 2.0. USA, Virginia: Radio Technical Commission for Maritime Services, 1990.
- c) Reynolds Electronics. *GPS Development Kit #DK-ER101 Installation & Data Documentation*. DK-ER101 GPS Development Kit. ([www.rentron.com/GPS.htm](http://www.rentron.com/GPS.htm)). 30 de julio 2002.

### 2) Direcciones electrónicas

- a) [www.geocentro.com/GPS/archivos-gps/gps.htm](http://www.geocentro.com/GPS/archivos-gps/gps.htm)  
En esta dirección se encuentra información sobre GPS y DGPS (consultada: 10 setiembre 2002).
- b) [www.mundogps.com](http://www.mundogps.com)  
En esta dirección se halla información sobre dispositivos de GPS (consultada: 31 julio 2002).
- c) [http://microe.udea.edu.co/cursos/ieo-944/documentos/c/curso\\_c/toc1.htm](http://microe.udea.edu.co/cursos/ieo-944/documentos/c/curso_c/toc1.htm)  
En esta dirección se encuentra un tutorial en línea en inglés para aprender lenguaje C (consultada: agosto 2002).

## APENDICES Y ANEXOS

---

### 1) Apéndices

#### Apéndice A.1: Glosario y lista de abreviaturas

##### A.1.1 Glosario

*Arreglo de memoria:* Es una colección de variables que comparten un mismo nombre y tamaño.

*Variable global:* Tipo de variable cuyo valor puede ser leído o cambiado en cualquier procedimiento dentro un programa.

*Protocolo:* Regla de comunicación entre procesos equivalentes que ofrecen un medio de controlar ordenadamente la comunicación de información entre estaciones de un enlace de datos.

##### A.1.2 Abreviaturas

*GPS:* Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global ).

*NAVSTAR GPS:* Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System (Señal de Navegación en Tiempo y Rango para Sistema de Posicionamiento Global).

*RTCM:* Radio Technical Commission for Maritime Services (Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos).

*ASCII*: Abreviatura para American Standard Code for Information Interchange (Código Americano para Intercambio de Información).

*ICE*: Instituto Costarricense de Electricidad.

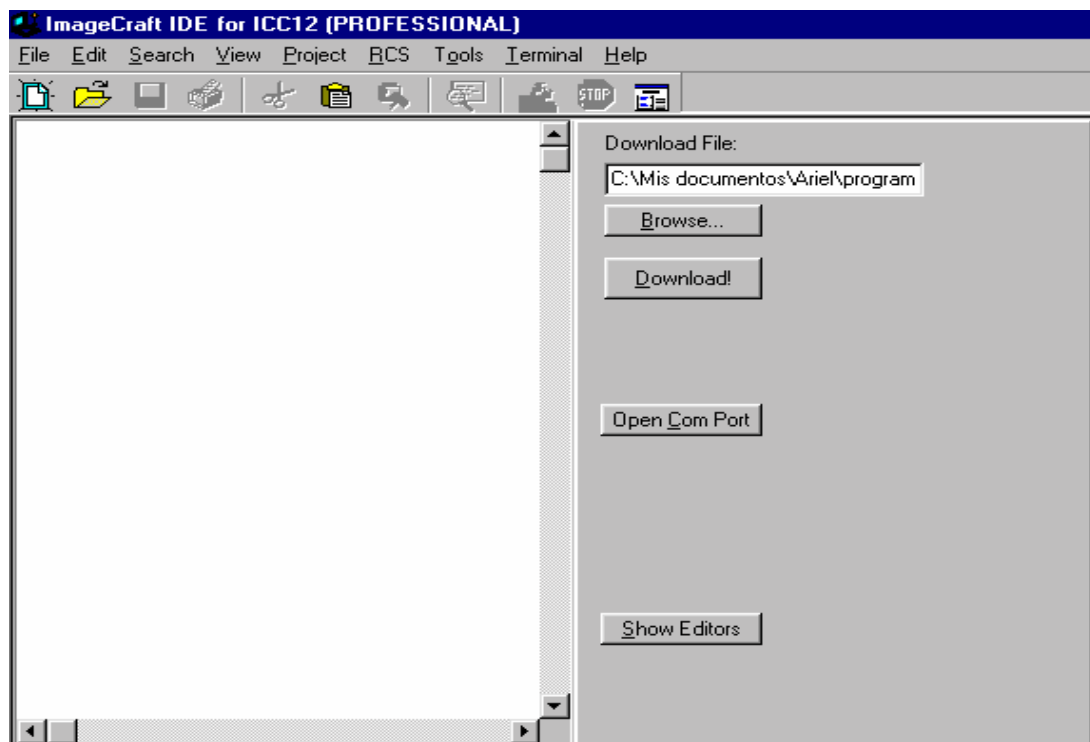
*NMEA*: Abreviatura para National Marine Electric Association (Asociación Eléctrica Marina Nacional), este organismo creó el protocolo NMEA 0183 para información sobre coordenadas y navegación.

*LED*: Light Emmitting Diode (diodo emisor de luz).

## Apéndice A.2 Guía rápida para programar tarjetas Adapt812DXLT

### A.2.1. Procedimiento:

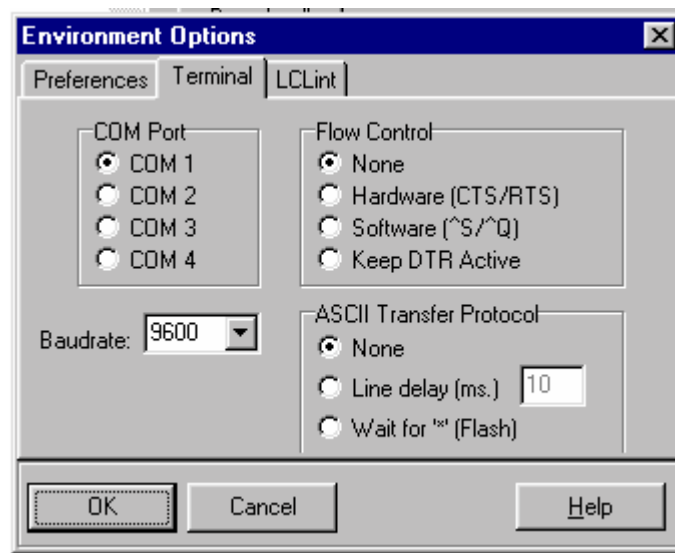
- 1) Alimente la tarjeta Adapt812DXLT con corriente continua de 500 mA max y VDC entre 9.5 V y 12 V al conector jumper **J1**. Corrobore que la polaridad sea la correcta, de serlo, se debe encender el led **D2**.
- 2) Conecte un cable serie entre el puerto serie de su computador y el puerto serie RS-232 de la tarjeta Adapt denominado como **J4**.
- 3) Abra el programa **ICC12**, busque el menú llamado **Terminal**, seleccione la opción **Show Terminal Window**, en ese instante debe aparecer la ventana terminal de monitoreo del puerto serie, tal y como lo muestra la figura A.2.1



**Figura A.2.1.** Ventana terminal de monitoreo del puerto serie.

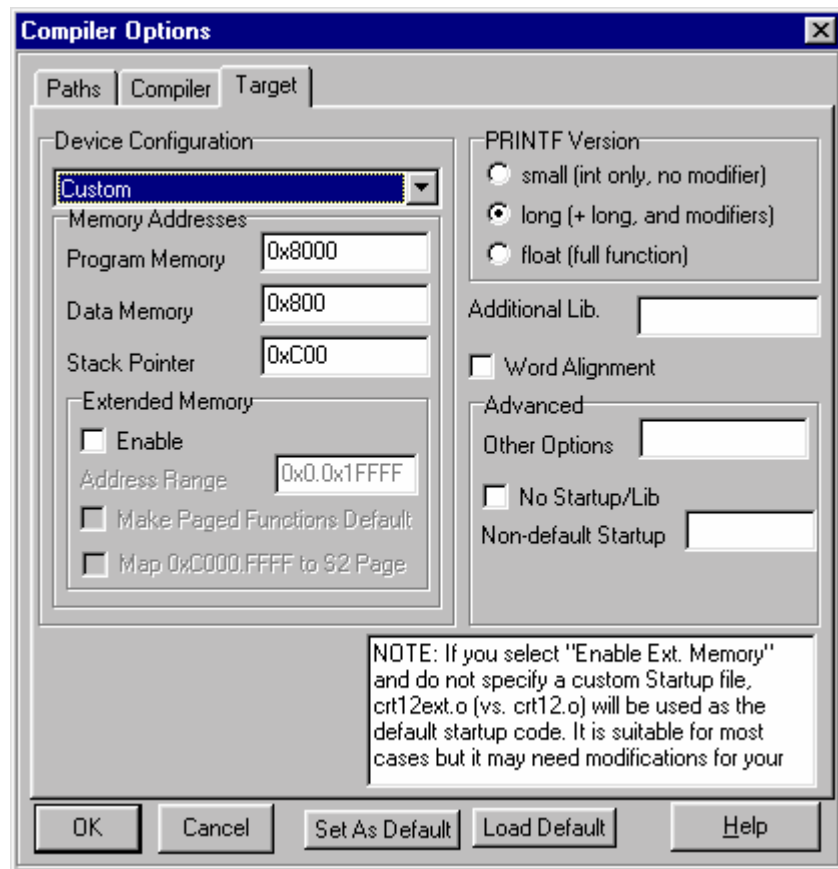


- 4) Una vez abierta la ventana de la terminal, seleccione en el menú de **Tool** la opción **Environment Options...**, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura A.2.2; seleccione la cejilla que dice **Terminal**, en ella se pueden seleccionar el puerto serie y la configuración la velocidad de transmisión, seleccione el puerto al cual se conectó la tarjeta Adapt y escoja un baudrate de 9600 bps.



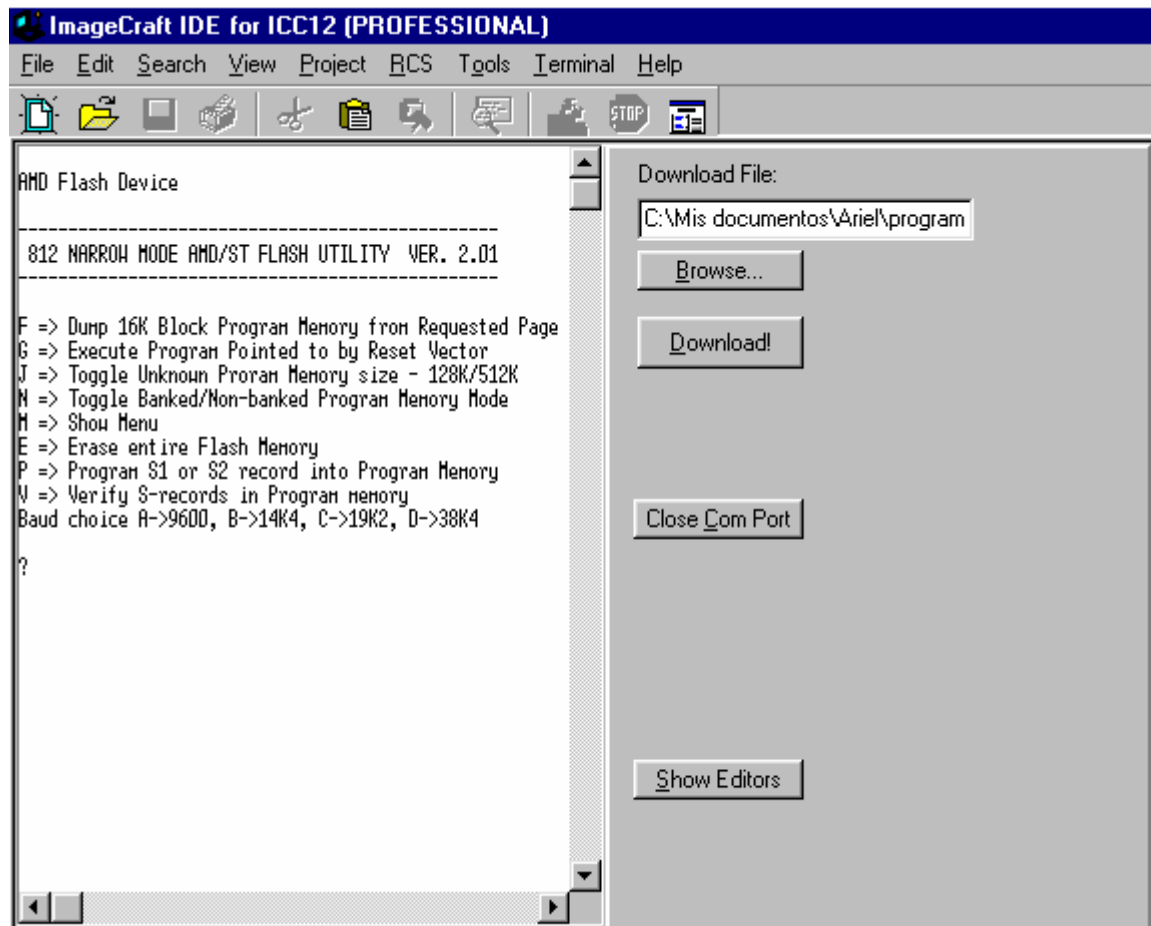
**Figura A.2.2.** Ventana de configuración del puerto serie.

- 5) Seleccione en el menú denominado **Project** la opción llamada **Options...**, se abrirá una ventana, seleccione la cejilla **Target**, en la parte llamada *Devise Configuration* se deben configurar las direcciones de memoria del dispositivo que se va a programar. La tarjeta Adapt812DXLT no se encuentra dentro de las opciones predeterminadas, por lo tanto seleccione *Custum* e introduzca los valores que aparecen en la figura A.2.3, la cual ilustra el proceso.



**Figura A.2.3.** Ventana de configuración de direcciones de memoria para la tarjeta Adapt812DXLT.

- 6) Establecidos ya todos los parámetros de configuración del ICC12, abra el puerto presionando con el puntero en la ventana terminal el botón *Open Com Port*; en la tarjeta coloque el interruptor **SW2** en posición RUN, **SW3** en SGL y presione el botón de reset **SW1**; inmediatamente en la ventana terminal debe aparecer un menú con las opciones para programar en la memoria flash su programa, tal y como lo ilustra la figura A.2.4. Si este menú no aparece refiérase a la sección A.2.2 de este mismo apéndice.



**Figura A.2.4.** Menú de programación para memoria flash de la tarjeta Adapt812DXLT.

- 7) El siguiente paso es introducir el programa deseado en la memoria flash de la tarjeta, para ello presione **N** para trabajar en Non-banked Program Memory Mode, con ello se garantiza que el programa será grabado a partir de la dirección cero de la memoria.

- 8) Seleccione **E** para borrar toda la memoria flash, eliminando así cualquier programa anterior residente en la misma.
- 9) En la ventana terminal aparece una casilla donde se debe colocar la dirección del archivo que se desea programar, seleccione *Browse...* y elija su archivo ejecutable tipo *.s19*; luego presione **P** para introducirlo dentro de la tarjeta Adapt. El proceso de programación puede tardar unos instantes, dependiendo del tamaño del archivo a programar.
- 10) Cuando el ICC12 termina de enviar el archivo tipo *.s19*, si se desea correr el programa simplemente se coloca el interruptor **SW3** en EXP y se presiona el botón de reset **SW1**. En ese instante su programa debería estar funcionando dentro de la tarjeta Adapt812DXLT.

### **A.2.2. Como grabar el programa manejador de memoria flash de la tarjeta Adapt812DXLT.**

Si el menú para grabar el programa en la memoria flash no apareció en la ventana terminal cuando se presionó el botón de reset SW1 con los interruptores SW3 en SGL y el SW2 en RUN, significa que el programa que se encarga de manejar la memoria de programa ha sido borrado de la memoria EEPROM de la tarjeta. Para poder programar en la memoria flash es primero necesario grabar el programa llamado MxFlash.s19 en la EEPROM, este programa se encuentra en el disquete con el software e instrucciones de la tarjeta Adapt812DXLT.

Para introducir este programa en la memoria se debe seguir el mismo procedimiento que para grabar en la memoria flash hasta el punto 5, en lugar del punto 6 se hace lo siguiente: el interruptor SW2 se coloca en la posición BOOT, el SW3 se pone en SGL y se presiona reset. Luego, se siguen los demás pasos pero en lugar de un programa escrito por el usuario se introduce el MxFlash.s19.

Terminada la descarga del programa, se recomienda volver a colocar SW2 en RUN y presionar el botón de reset, ahora sí se debe observar en la ventana de terminal el menú para programar la memoria flash.

## **2) Anexos**

### **Anexo B.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

#### **B.1.1 ¿Que es?**

El Sistema de Posicionamiento Global GPS, es un método de posicionamiento y navegación basado en las señales transmitidas por la constelación de satélites NAVSTAR (siglas en inglés de Navigation Satellite Timing And Ranging), que son recibidas por receptores portátiles en Tierra. Las señales múltiples que se reciben simultáneamente provenientes de las sucesivas posiciones de los satélites, se utilizan para resolver las ambigüedades y permitir con esto, la determinación de la posición tridimensional del punto por conocer.

El GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objetivo de mejorar la exactitud para la navegación terrestre, marina y aérea, para de esta manera proveer posicionamiento geográfico preciso en cualquier parte del mundo a usuarios en Tierra por medio del uso de receptores portátiles. De esta manera, el 22 de febrero de 1978 se puso en órbita el primero de los satélites NAVSTAR, fecha que marcó un nuevo hito en la historia de la Navegación y Geodesia en todo el mundo. El proyecto GPS determinó en un principio el lanzamiento de un grupo de 10 satélites o bloque experimental, que tuvo como objetivo determinar la efectividad del sistema. Después de estos trabajos de investigación, se puso en marcha el bloque operativo, que el 26 de junio de 1993 colocó en órbita el satélite número 24, con lo cual quedó completa la constelación que permite un cubrimiento espacial de 24 horas en cualquier parte del mundo. Actualmente la precisión de un levantamiento GPS está cifrada en el rango de los 3-10 metros en tiempo real, esto es en el momento de la observación, esta exactitud puede variar dependiendo del lugar del planeta hasta un rango de 100 metros.

### **B.1.2 Funcionamiento del sistema GPS**

El funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global **GPS** se puede describir en los siguientes 5 pasos:

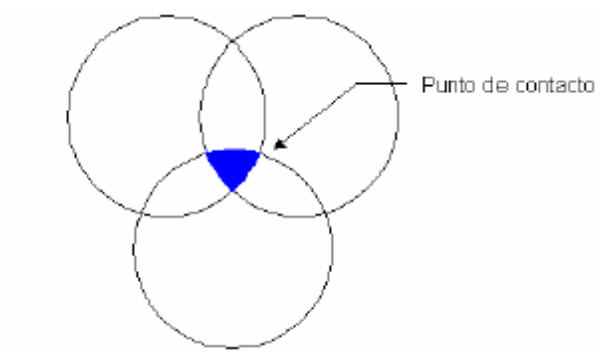
1. Triangulación
2. Distancias
3. Tiempo
4. Posición
5. Corrección

#### **B.1.2.1 Triangulación**

La triangulación se basa en la utilización de los satélites en el espacio como puntos de referencia en este planeta.

Esta técnica consta en medir una distancia hacia al menos tres satélites lo que permite calcular una posición en cualquier parte de la tierra.

Específicamente, cuando se obtienen las mediciones de un cierto lugar a un primer satélite se limita la ubicación a la distancia medida, creándose una esfera que tiene como centro el primer satélite. De esta manera al obtener hasta tres mediciones más, la intersección de estas tres esferas darán con el punto que se desea ubicar, es decir, se limita la posición a sólo dos puntos posibles. La figura B.1.1 hace alusión al punto de contacto creado luego de determinar la ubicación a tres satélites.



**Figura B.1.1.** Punto de contacto

#### **B.1.2.2 Distancias**

Por otra parte, la medición de la distancia se basa en la simple aplicación de la relación matemática que indica la ecuación 4.

$$v * t = d \quad (5)$$

Se debe tomar en cuenta que la señal proveniente del satélite viaja a la velocidad de la luz pero que llega con un cierto atraso al GPS debido a la distancia que tuvo que recorrer la señal.

Para saber el tiempo que duró la señal proveniente del satélite en llegar al receptor se compara ésta con una idéntica generada en el mismo instante en el receptor de GPS, la diferencia de tiempo que se genera entre las señales es la que se toma en cuenta para el debido cálculo de la distancia.



El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de las señales provenientes del satélite.

La señal que emite el GPS y el satélite es denominada *Código Pseudo Aleatorio*.

Este código se define como una secuencia o código digital que genera una sucesión de pulsos ON-OFF, es tan complicada que puede ser comparada con un ruido eléctrico, esto permite que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con otra señal así como que los satélites puedan transmitir a la misma frecuencia sin interferirse mutuamente.

### **B.1.2.3 Tiempo**

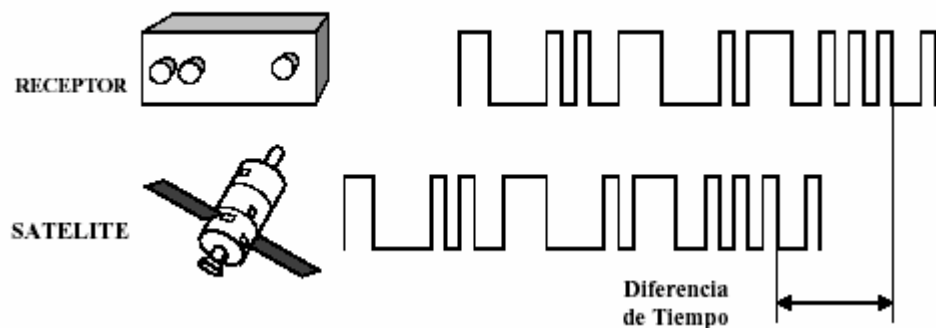
El motivo por el cual la sincronización de los relojes tanto del GPS como de los satélites es importante se debe a que si éstos presentan un desvío de una milésima de segundo a la velocidad de la luz esto se llega a traducir en un error de 300 km.

Los satélites están dotados de relojes atómicos que son de alta precisión pero con un costo muy elevado (\$50 a \$100000) lo que imposibilita la utilización de estos relojes en los GPS.

Por esto se desarrolló un método para la sincronización del reloj del GPS con el de los satélites, que consiste en la toma de una medición adicional.

Esta cuarta medición permitirá que el sistema del GPS determine la diferencia ya que ésta no se intersecará con las tres primeras, lo que se atribuye a una sincronización imperfecta con la hora universal. Dado que esto afecta las 4 mediciones, el receptor busca un factor de corrección único que siendo aplicado a sus datos de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto lo que le permite al receptor ajustarse nuevamente a la hora universal.

La figura B.1.2 muestra el desfase en tiempo de las señales.



**Figura B.1.2.** Medición de la diferencia de tiempo.

#### **B.1.2.4 Posición**

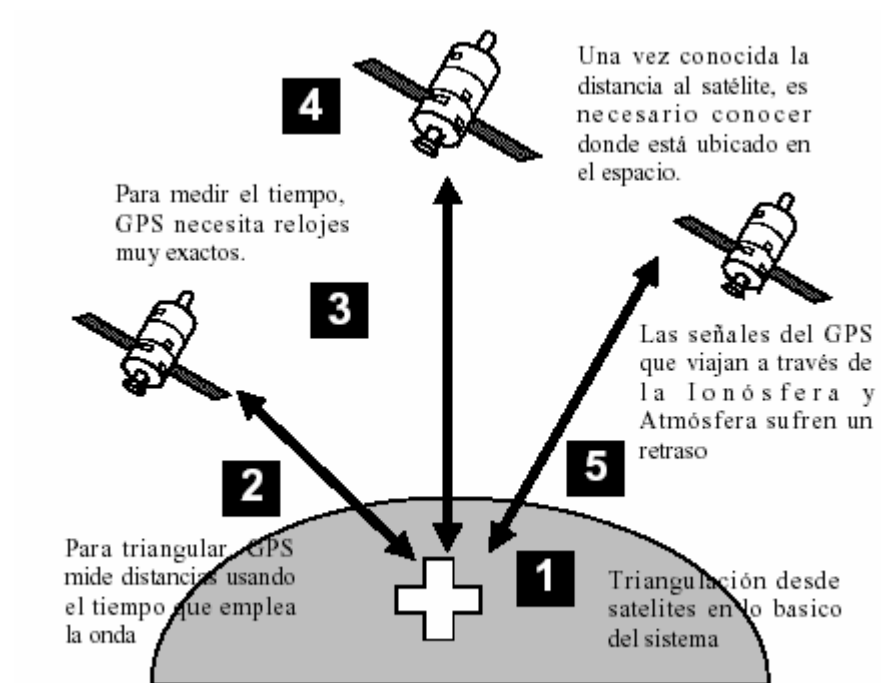
Los satélites flotan en conjunto a 20000 km de altura en el espacio lo que es beneficioso ya que algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Esto significa que orbitaran de manera regular y predecible mediante siguiendo ecuaciones matemáticas sencillas. Se utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la altura exacta, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que los radares controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitatorias del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites. Quiere decir que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite.

#### **B.1.2.5 Corrección**

La medición real de la distancia a los satélites puede ser afectada por diversos tipos de errores. Uno de ellos es *el viaje a través de la atmósfera*. La señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través del vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes. El error es difícil de predecir ya que las condiciones atmosféricas se ajustan poco al promedio previsto. Otra manera de manejar este error es comparando la velocidad relativa de dos señales diferentes. También se presenta un error cuando llega a la tierra debido a que la señal puede rebotar varias veces por obstrucciones locales antes de ser captada por el receptor GPS, sin embargo éstos están dotados con sistemas de rechazo para minimizar el problema.

En resumen, el funcionamiento del GPS lo muestra la figura B.1.3, donde se muestra como se realiza la triangulación con la ayuda de los satélites.



**Figura B.1.3.** Ejemplo del sistema de GPS.

## Anexo B.2 Comandos NMEA para el GPS Development Kit #DK-ER101

### GPS Receiver Engine Board NMEA Software Commands

#### NMEA Output Command

A) The **GGA-Global Positioning System Fix Data** describes Time; position and fix related data for a GPS receiver.

#### Format:

\$GPGGA,HHMMSS.sss,DDMM.mmm,d,DDDMM.mmm,d,q,ss,h.h,a.a,z,,,\*CC  
<CR><LF>

\$	Beginning of NMEA sentence
<b>GPGGA</b>	Message Header
<b>HHMMSS.sss</b>	UTC of position fix
HH:	hours (00 .. 24)
MM:	minutes (00.59)
SS.sss	seconds (00.000..59.999)
<b>DDMM.mmmm,d</b>	Latitude –N(+)/S(-)
DD:	Degree (00..90)
MM.mmm	Minutes (00.0000..59.9999)
m:	
d:	direction, N-north, S-south
<b>DDDMM.mmmm,d</b>	Longitude E(+)/W(-)
DDD:	Degree (00.180)
MM.mmm	Minutes (00.0000..59.9999)
m:	
d:	Direction, E-east, W-west

<b>q</b>	GPS quality indicator
q:	0 – Fix not available, or invalid 1 – GPS SPS Mode, fix valid 2 – Differential, GPS SPS Mode, fix valid 3 – GPS PPS Mode, fix valid
<b>ss</b>	Number of satellites in use (in tracking) ss=0..12
<b>h.h</b>	Horizontal dilution of precision h.h : HDOP
<b>a.a</b>	Antenna altitude re: mean-sea-level (geoid)
<b>M</b>	Units of antenna altitude, meters
<b>NULL</b>	Geoidal separation (Not supported)
<b>NULL</b>	Units of geoidal separation (Not yet supported)
<b>x.x</b>	Age of Differential GPS data(NULL)
<b>Xxxx</b>	Differential reference station ID
<b>*CC&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>	Check Sum and sentence termination delimiter

**Ex.:**

\$GPGGA,084131.430,2505.9144,N,12145.0509,E,1,05,2.0,59.1,M,,,0000\*38

**\*\*Checksum Field:** The absolute value calculated by exclusive-OR the 8 data bits of each character in the Sentence, between, but excluding “\$” and “\*”. The hexadecimal value of the most significant and least significant 4 bits of the result are converted to two ASCII characters (0-9, A-F) for transmission. The most significant character is transmitted first.

## **B) RMC-Recommended minimum specific GPS/Transit data and fix related data for a GPS receiver**

### **Format:**

GPRMC,HHMMSS.sss,a,DDMM.mmm,d,DDMM.mmm,d,z,z,y.y,ddmmyy,d.d,v

\*hh<CR><LF>

**\$** Beginning of NMEA sentence

**GPRMC** Message Header

<b>HHMMSS.sss</b>	UTC of position fix
	HH:            hours    (00 .. 24)
	MM:            minutes (00.59)
	SS.sss        seconds (00.000..59.999)
<b>a</b>	Status (A=valid, V=invalid) Invalid if over current DOP mask
<b>DDMM.mmmm,d</b>	Latitude – N(+)/S(-)
	DD:            Degree (00..90)
	MM.mmm      Minutes (00.0000.59.9999)
	m
	d:              Direction, N-north, S-south
<b>DDDMM.mmmm,d</b>	Longitude – E(+)/W(-)
	DDD:          Degrees (00 .. 180)
	MM.mmm      Minutes (00.000 .. 59.9999)
	m:
	d:              Direction, E-east, W-west
<b>z.z</b>	Speed over ground (knots). 0 if over current DOP mask
<b>y.y</b>	Course over ground (reference to true north). 0 if over current DOP mask
<b>Ddmmyy</b>	UTC date of position fix
	dd:            Day (1...31)
	mm:           Month (01..12)
	yy:            Year (00 .. 99)
<b>d,d</b>	(Null)Magnetic variation (degrees) (0.0..180.0)
<b>v</b>	(Null)Variation sense (E=east, W=west)
<b>*hh&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>	Check Sum and sentence termination delimiter

**Ex.:** \$GPRMC,084119.430,A,2505.9101,N,12145.1214,E,19.80,265.26,260799,,\*39

**C) The GSA - GPS DOP and Active Satellites GPS receiver operating mode, satellites used in the navigation solution reported by the \$--GGA sentences, and DOP values.**

**Format:**

\$GPGSA,a,x,s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8,s9,sA,sB,sC,p.p,h.h,v.v\*hh<CR><LF>

<b>GPGSA</b>	GSA message header
<b>a,</b>	Mode: A – Automatic M – Manual (forced to operate in 2D or 3 D mode)
<b>x,</b>	Mode: 1 = Fix not available 2 = 2D 3 = 3D
<b>sl,...., sC</b>	1 –12 PRN number of satellites used in solution (NULL for unsued fields)
<b>p.p,</b>	PDOP
<b>h.h</b>	HDOP
<b>v.v</b>	VDOP
<b>*hh&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>	Check Sum and sentence termination delimiter

**Ex:** \$GPGSA,A,3,09,17,08,26,23,29,,,,,,,,,2.5,1.7,1.8\*33



#### D) The GSV - GPS Satellites in view

Number of satellites in view, PRN numbers, elevation, azimuth, and SNR value. Four satellites max. per transmission, additional satellite data sent in second or third message. Total number of messages being transmitted and the number of the message being transmitted is indicated in the first two fields indicated in the first two fields.

```
$GPGSV,<a>,<m>,<nn>,  
  <ss>,<ee>,<aaa>,<cc>,  
  <ss>,<ee>,<aaa>,<cc>,  
  <ss>,<ee>,<aaa>,<cc>,  
  <ss>,<ee>,<aaa>,<cc>*hh<CR><LF>
```

<b>&lt;a&gt;</b>	Total number of messages (1 .. 3)
<b>&lt;m&gt;</b>	Message number (1 .. 3)
<b>&lt;nn&gt;</b>	Total number of satellites in view for each visible satellite (four groups per message)
<b>&lt;ss&gt;</b>	Satellite PRN number (1 .. 32)
<b>&lt;ee&gt;</b>	Elevation, degrees (00 .. 90)
<b>&lt;aaa&gt;</b>	Azimuth, degrees True (000 .. 359)
<b>&lt;cc&gt;</b>	SNR (C/No) (00 .. 99) Null when not tracking

\*hh<CR><LF> Check Sum and sentence termination delimiter

**Ex.:** \$GPGSV,2,1,06,09,70,054,45,17,64,249,43,08,59,203,46,26,27,048,39\*7E  
\$GPGSV,2,2,06,23,46,336,43,29,12,270,39\*7A

## E) The GLL - Geographic Position-Latitude/Longitude

### Format:

\$GPGLL,DDMM.mmmm,d,DDDMM.mmmm,d,HHMMSS.ss,a\*CC<CR><LF>

<b>\$</b>	Beginning of NMEA sentence
<b>GPGLL</b>	Message Header
<b>DDMM.mmm,d</b>	Latitude - N(+)/S(-) DD: degree (00.90) MM.mmm minutes (00.000..59.9999) m: d: direction, N – north, S – south
<b>DDDMM, mmmm, d</b>	Latitude – E(+)/W (-) DDD: degree (00..180) MM.mmm minutes (00.000..59.9999) m: d: direction, E – east, W – west
<b>HHMMSS.ss</b>	UTC of position fix HH: Hours (00...24) MM: Minutes (00.59) SS.ss: Seconds (00.00..59.99)
<b>a</b>	Status :A – valid B – Invalid
<b>*CC&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>	Check Sum and sentence termination delimiter

**F) The VTG - Course Over Ground and Ground Speed**

**The actual course and speed relative to the ground.**

**Format:**

\$GPVTG,t.t,T,m.m,M,s.s,N,g.g,K\*hh<CR><LF>

t.t	Course Over Ground (degrees True) 0 if over current DOP mask
T	Units: T - degrees True
m.m	Course Over Ground (degrees Magnetic) 0 if over current DOP mask
M	Units: M - degrees Magnetic
s.s	Speed (knots). 0 if over current DOP mask
N	Units: N – knots
g.g	Speed (Km/hr). 0 if over current DOP mask
K	Units: K - Km/hr
*hh<CR><LF>	Check Sum and sentence termination delimiter